



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Christen Haamer

DIISELTOITEAPARATUURIDE KESTUSKATSESTEND

ENDURANCE TEST BENCH FOR DIESEL SUPPLY APPARATUS

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: Risto Ilves, PhD

Juhendaja: Janar Kalder, MSc

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Christen Haamer		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Diiseloiteaparatuuride kestuskatsestend			
Lehekülgi: 50	Jooniseid: 32	Tabeleid: 7	Lisasid: 10
Osakond / Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool ETIS teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika ETIS teaduseriala: 4.14.Tootmistehnika ja tootmisjuhtimine CERC-S kood: T130 Juhendajad: dotsent Risto Ilves ja lektor Janar Kalder Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2019			
<p>Antud bakalaureusetöös käsitletakse diiseloiteaparatuuride kestuskatsestendi projekteerimist ja konstrueerimist. Teemat on eelnevalt uurinud Keio Küt oma bakalaureuse- ning magistritöös. Diiseloiteaparatuuride kestuskatsetused on olulised toiteaparatuuri põhiosade ehk kõrgsurvepumba ja pihustite kulumise hindamiseks erinevaid diiselmootorite kütuseid kasutades, mis aitaks väljaselgitada toitesüsteemi ligikaudse kestuse ning planeeritavad hooldusvälbad. Kestuskatsete teostamine on aeganõudev ning kulukas protsess, mille läbiviimiseks on vaja projekteerida ning konstrueerida spetsiaalne kestuskatsestend, lähtudes eelneva tudengi lõputöös tekkinud probleemidest. Parema ning toimiva kestuskatsestendi konstrueerimiseks on vaja eelnevalt koostada ülevaade erinevatest diiselmootorite kütuste võrdlusparameetritest. Lisaks on vaja koguda teavet erinevatest kasutusel olevatest diiseloiteaparatuuridest, et aru saada, milliseid diiseloiteaparatuure oleks võimalik ja mõistlik katsestendis kasutada. Eelneva katsestendi konstruktsioonianalüüsi osas kirjeldatud probleemide lahendamiseks koostati tehnilised joonised ja elektroonikaskeemid uute lahendusettepanekute kohta, sealjuures arvestades olemasolevate materjalidega ning tootmistehnoloogiatega. Jooniste ja skeemide alusel konstrueeritud detailid on kirjeldatud töö konstrueerimise vastavates peatükkides. Tööd on võimalik jätkata, automatiseerides juba osaliselt valminud automaatmõõtesüsteemi.</p>			
Märksõnad: kütuste võrdlusparameetrid, projekteerimine, konstrueerimine, kulumiskatse			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor’s Thesis	
Author: Christen Haamer		Curriculum: Engineering	
Title: Endurance test bench for diesel supply apparatus			
Pages: 50	Figures: 32	Tables: 7	Appendixes: 10
Department / Chair: Chair of Biosystem Engineering Field of research: 4.14. Industrial Engineering and Management CERC S code: T130 Supervisors: Associate Professor Risto Ilves, Lecturer Janar Kalder Place and date: Tartu, 2019			
Diesel supply apparatus endurance tests are not widely investigated. Although tests are needed to examine high preassure fuel pump and injectors wear resistance while using different diesel engine fuels. This study examined previous endurance test bench to design and construct better solutions. Different fuels and diesel supply apparatus were researched to understand the problems and possibilities related with previous test bench. While designing new mechanical parts and electronical schematics, it is important to consider materials and technologies to use. There has been some issues constructing new parts. However, all new mechanical parts and electronical components are suited together. Thus it is possible to make first endurance tests. Further research would involve some automated measuring solutions for endurance test bench.			
Keywords: design, construct, wear resistance, technical drawings and schematics, endurance test bench			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. ALTERNATIIVKÜTUSED DIISELMOOTORI KÜTUSENA.....	7
1.1. Biokütused (FAME, HVO, Bioetanool)	7
1.2. Lennukikütus survesüütega mootoris	10
1.3. Diiseltoiteaparatuurid.....	10
1.4. Diiseltoiteaparatuuride kestuskatsetused	17
2. KESTUSKATSESTENDI PROJEKTEERIMINE	19
2.1. Olemasoleva kestuskatsestendi konstruktsioonianalüüs.....	19
2.2. Kestuskatsestendi mehaanilise osa projekteerimine	20
2.3. Kestuskatsestendi elektrooniline juhtimine	32
3. KESTUSKATSESTENDI KONSTRUEERIMINE.....	37
3.1. Kestuskatsestendi mehaanilise osa konstrueerimine	37
3.2. Kestuskatsestendi elektroonilise juhtosa konstrueerimine.....	41
KOKKUVÕTE	46
KASUTATUD KIRJANDUS	47
SUMMARY	50
LISAD	51
Lisa 1. Mensuurikast (tehnilised joonised)	
Lisa 2. Kütusepaak (tehnilised joonised)	
Lisa 3. Mensuurikasti ja kütusepaagi tugiraam (tehnilised joonised)	
Lisa 4. Pumba kinnitusflanš ja ülekande detailid (tehnilised joonised)	
Lisa 5. Koostujoonis (tehnilised joonised)	
Lisa 6. Sagedusmuunduri kate (tehnilised joonised)	
Lisa 7. Elektromagnetpihustite juhtimiseks disainitud trükk-plaadi kujutis	
Lisa 8. Pihustite juhtimise elektroonikaskeem	
Lisa 9. Arduino UNO kood pihustite ja pumba rõhuregulaatori juhtimiseks	
Lisa 10. Arduino UNO kood osaliselt konstrueeritud mõõtesüsteemi juhtimiseks	
Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	

SISSEJUHATUS

Erinevate kütuste ja kütusesegude mõju kolbmootorite efektiivsuslikele, ökonoomsuslikele omadustele ning heitgaaside emissioonile on tänapäeval palju uuritud. Samas on vähe andmeid näiteks diiselmootorite toitesüsteemide kulumise kohta. Erinevate kütuste (siinhulgas biokütuse segude) füüsikalise-keemilised omadused on võrreldes diislikütusega erinevad. Seetõttu on oluline uurida nende pikaajalist mõju mootori toitesüsteemidele, et väljaselgitada toitesüsteemi ligikaudne kestus ning planeeritavad hooldusvälbad. Kestuskatsete läbiviimine on aeganõudev ning kulukas protsess. Diiselmootorite toitesüsteemide kestuskatsete läbiviimiseks on Eesti Maaülikoolis välja töötatud tehniline lahendus.

Antud töö eesmärk on projekteerida ja konstrueerida kestuskatsestend diiseltoiteaparatuuride kestuskatsete läbiviimiseks. Töös võetakse aluseks varasemalt Keio Küt-i magistritöös projekteeritud ja konstrueeritud kestuskatsestend.

Töö eesmärgi saavutamiseks püstitati järgmised tööülesanded:

- 1) anda ülevaade erinevatest diiselmootorite kütustest, mida oleks võimalik kestuskatsestendis kasutada;
- 2) anda ülevaade erinevate diiseltoiteaparatuuride tööpõhimõttest ning olulisematest töösõlmedest;
- 3) anda ülevaade olemasolevast kestuskatsestendist ning kestuskatse metoodikast;
- 4) analüüsida olemasoleva kestuskatsestendi konstruktsiooni ning tuua välja selle puudused;
- 5) pakkuda välja lahendused olemasoleva kestuskatsestendi parendamiseks;
- 6) konstrueerida väljapakutud lahendused kestuskatsestendile.

Töö on jaotatud kolmeks peatükiks. Esimeses peatükis antakse ülevaade võimalikest stendis kasutatavatest diiselmootorite kütustest (biokütused ning nende segud diislikütusega, lennunduskütused) ja diiselmootori toiteaparatuurist (põhjalikum ülevaade

kõrgsurvepumpadest ning pihustitest). Töö teises osas analüüsitakse olemasolevat kestuskatsestendi ja tuuakse välja selle puudused. Seejärel pakutakse välja uued lahendused kestuskatsestendi parendamiseks ning kirjeldatakse stendi uute lahenduste projekteerimist. Tuuakse välja arvutuskäigud olulisematest koostetest ning nende joonised. Töö kolmandas osas on käsitletud projekteeritud lahenduste konstrueerimist, sealhulgas kirjeldatud milliseid tootmis- ning töötlemistehnoloogiaid on kasutatud.

1. ALTERNATIIVKÜTUSED DIISELMOOTORI KÜTUSENA

1.1. Biokütused (FAME, HVO, Bioetanool)

Bioetanooli toodetakse valdavalt kääritamisel biomassist ning kasutatakse sadesüütega mootorites. Erinevalt teistest süsivesinik kütustest seob etanool hästi vett ja põhjustab seeläbi korrosiooni [10]. Üks väheseid diiselmootoritele mõeldud etanoolkütuseid on bioetanool ED95, mis on patenteeritud Rootsi biokütuse tootja SEKAB poolt. Nimetatud kütuses on 92,5-96 mahuprotsenti etanooli; 3,5 mahuprotsenti käivituse parandajat (polüetüleenglükooli derivaat); ning 0,5-4,5 mahuprotsenti denaturante (MTBE ja isobutanool), määrdaineid ja korrosioonivastast lisandit [14]. Nimetatud kütuse nõuded on määratletud Rootsi standardiga SS 155437, see ei sätesta aga nõudeid denaturantidele, süüteparandajatele ega värvainetele [13]. Tallinna linnaliinibussidele koostatud aruandes on välja toodud, et kohaliku õhusaaste vähendamise aspektist on bioetanool kõige „puhtam“ alternatiiv biodiislikütuse ja hübriidinduse ees [14]. Samas on seoses etanooli väiksema energiasisaldusega bioetanool teistest nimetatud alternatiividest kütuse hinna poolest kallim.

Triglütseriidid on estrid, mida leidub taimsetes õlides ja loomsetes rasvades. Need on valdava osa kasutusel olevate biodiislikütuste tootmise alusmaterjalideks. Taimsete õlide viskoossus on kuni kümme korda kõrgem fossiilse diislikütuse viskoossusest, nende tihedus on suur, tsetaaniindeks madal, suhteliselt kõrge vee- ja mikroelementide (metallid) sisaldus. Puhta taimeõli segamisel fossiilsete kütustega tekivad mootorites probleemid, sh ummistunud filtrid, toiteaparatuuride suurenenud kulumine ja heitmekoguste tõus. Probleeme on võimalik vähendada puhta taimeõli töötlemisel. Üks tööstuslik meetod on transesterifitseerimine metanooliga katalüsaatori (leelis) juuresolekul, seeläbi on võimalik toota rasvhapete metüülestreid (FAME), mille kõrvalproduktiks on glütserool. Küllastunud süsivesinikahelaga metüülestritel on tavapäraselt kõrgem sulamistemperatuur ja sellistel kütustel on probleeme külmakindlusega. Täpsemad näitajad selle kohta on CFPP (külma filtri ummistuspunkt), CP (hägustumispunkt) ja PP (hangumistemperatuur). Küllastumata

süsivesinikahelaga metüülestritel on madalam sulamistemperatuur ning neid kütuseid on parem kasutada külmemates piirkondades kui küllastunud ahelaga metüulestreid. Osades FAME sisaldusega kütustes põhjustab oksüdatsioon happeid ja polümeeri ladestusi mootoris, selle tulemusena ummistuvad filtrid ning kütuse pihustamine mootoris on häiritud. Oksüdatsiooni tundlikkust mõjutavad küllastumata sidemed ja nende asukohad süsivesinikahelas ning allüülsed rühmad. Oksüdatsioonistabiilsuse kindlaks tegemiseks on välja töötatud *Rancimat*'i meetod. Kütuse oksüdatsioonistabiilsuse seisukohalt on olulisel kohal veel happearv (tüüpiliselt 0,5 mg KOH/g max.), mis mõjutab otseselt toiteaparatuuri osiste korrodeerumist. On välja toodud, et FAME kasutamisel kütusena on kolm kõige suuremat tähelepanu vajavat näitajat järgmised: esimene neist tsetaaniindeks, mis mõjutab põlemist mootoris, süüteviivist ja käivitumise kergsust; teiseks külmakindlus; ning kolmandaks oksüdatsioonistabiilsus. [10]

Vesinikuga töödeldud taimeõli (HVO) liigitatakse söödava lähteaine poolest kui esimese generatsiooni biokütus, tootmismeetodi alusel liigitatakse see teise generatsiooni biokütuseks. Kui lähteainena kasutatakse fritüürõli, siis liigitub HVO täielikult teise generatsiooni biokütuseks [11]. Hüdrogeenimise käigus eraldatakse kütusest hapnik, mis vähendab kütuse kasutusega ja stabiilsust. Kõrvalproduktidena tekivad reaktsiooni käigus propaan ja vesi. Allolevas tabelis 1.1 on kujutatud naftasaadustest toodetud diislikütuse, parafiinse diislikütuse ja FAME standarditega kehtestatud näitajate võrdlustabel. Sünteesist või vesiniktöötlustest saadud parafiinsed diislikütused, mille nõuded on kirjeldatud standardis EN 15940:2016, erinevad standardis EN 590 kirjeldatud diislikütusest väiksema tiheduse ja väävlisisalduse poolest. Klassi A kohaselt on parafiinsed diislikütused suurema tsetaaniarvuga, mis iseloomustab süttivust diiselmootoris. [7]

Tabel 1.1. Vastavalt standarditele erinevate kütuste võrdlustabel [38-40]

Näitaja	Ühik	EN 15940:2016 +A1:2018 klass A	EN 15940:2016 +A1:2018 klass B	EVS-EN 590:2013 + A1:2017	EVS-EN 14214:2012 +A1:2014
Tihedus temperatuuril 15 °C	kg/m ³	765,0-800,0	780,0-810,0	820,0–845,0	860.0-900,0
Tsetaaniarv		min 70,0	min 51,0	> 51,0	min 51,0
Leekpunkt	°C	min 55,0	min 55,0	> 55,0	min 101
Viskoossus 40 °C juures	mm ² /s	2,000-4,500	2,000-4,500	2,000-4,500	3,500-5,000

Tabel 1.1 järg

Määrimis- võime, korregeeritud kulumisjälje diameeter	µm	max 460	max 460	max 460	-
FAME sisaldus	mahu%	max 7,0	max 7,0	max 7,0	min 96,5
Väävlisisaldus	mg/kg	max 5,0	max 5,0	max 10,0	max 10,0
Tuhasisaldus	massi%	max 0,010	max 0,010	max 0,010	max 0,02 (sulfaat- tuhasisaldus)
Veesisaldus	mg/kg	max 200	max 200	max 200	max 500
Korrosiivsus vaskplaadikat- sel (3h 50°C juures)	klass	klass 1	klass 1	klass 1	klass 1
Oksüdatsiooni- stabiilsus	g/m ³	max 25	max 25	max 25	-
	h	min 20	min 20	min 20	min 8 (110 °C juures)
Aromaatsete süsivesinike sisaldus	massi%	max 1,1	max 1,1	max 8,0	-
Kliimast olenevad nõuded talveperioodil (klass 1):					
Hägustumis- punkt	°C	max -16	max -16	max -16	-
CFPP	°C	max -26	max -26	max -26	max -26
Viskoossus 40°C juures	mm ² /s	1,500-4,000	1,500- 4,000	1,500- 4,000	3,500-5,000

Vastavalt standardile EN 590:2013 on lubatud diislikütusesse lisada kuni 7 mahu% esimese põlvkonna biokütust FAME. See piirang ei kehti aga teistele mitte naftast toodetud süsivesinikele, mille alla kuuluvad teise põlvkonna biokütused HVO, GTL (gaasist toodetud vedelikud) ja BTL (biomassist toodetud vedelad süsivesinikud). Teise põlvkonna biokütuste segamisel fossiilse diislikütusega on Eestis turustamise eelduseks, et valmis segu vastab standardis EN 590:2013 esitatud nõuetele. [13]

Sünteesgaasist ja hüdrogeenitud taimeõlidest ning -rasvadest saadud parafiinsele diislikütusele on kehtestatud eraldi standard EN 15940:2016. Põhilised erinevused standardis EN 590:2013 kehtestatud diislikütusest on tiheduse ja aromaatsete ühendite sisalduse osas. Hetkel 100% sünteetilist kütust Eesti tanklates müüa ei tohi, kuid eraldi märgistused vastavale kütusele on olemas. [13,20]

1.2. Lennukikütus survesüütega mootoris

Tsiviilreaktiivkütuste karakteristikud on välja toodud standardis ASTM D1655. Standard kirjeldab miinimum nõuded kahe petrooli-tüüpi (Jet A-1 ja Jet A) kütuse jaoks, milles on välja toodud lisaks lubatavate lisandite loetelu. Standard on välja töötatud tsiviilrakenduste tarbeks, kuid see võib olla kohaldatav veel militaar ja valitsusorganite jaoks. Nimetatud standardit võib võtta aluseks avioturbiinkütuste tootmise ning kasutamise kvaliteedi hindamisel, kütuse kvaliteedi kestvuse seisukohast antud standard ei sobi. ASTM D1655 nimetatud kütuse tüüpe võib kasutada ka teistes, mitte turbiinmootoriga, jõuallikates kui need on vastava kontrolli läbinud. [8]

Avioturbiinkütused on mõeldud reaktiivmootorites kasutamiseks, lisaks on lennundusalased juhtorganid atesteerinud avioturbiinkütused ka diiselmootorites kasutamiseks. Jet A-1 ning Jet A on arendatud petrooleumist, omavaheline erinevus on kõrgem kristallisatsioonipunkt Jet A kütuse korral (miinimum -40°C -47°C asemel) ning see kütus on saadaval ainult Ameerika Ühendriikides. Jet A-1 kütuse leekpunkt on miinimum 38°C . Karakteristikud Jet A-1 kütusele on esitatud järgmiste rahvusvaheliste standarditega: DEF STAN 91-91 (UK), NATO kood F-35 (varasemalt DERD 2494) ning eespool mainitud ASTM D1655. [9]

JP-8 on militaarne ekvivalent Jet A-1 turbiinkütusele, millele on lisatud korrosiooni inhibiitorit ja jäätõrje manust. [9]

1.3. Diiseloiteaparatuurid

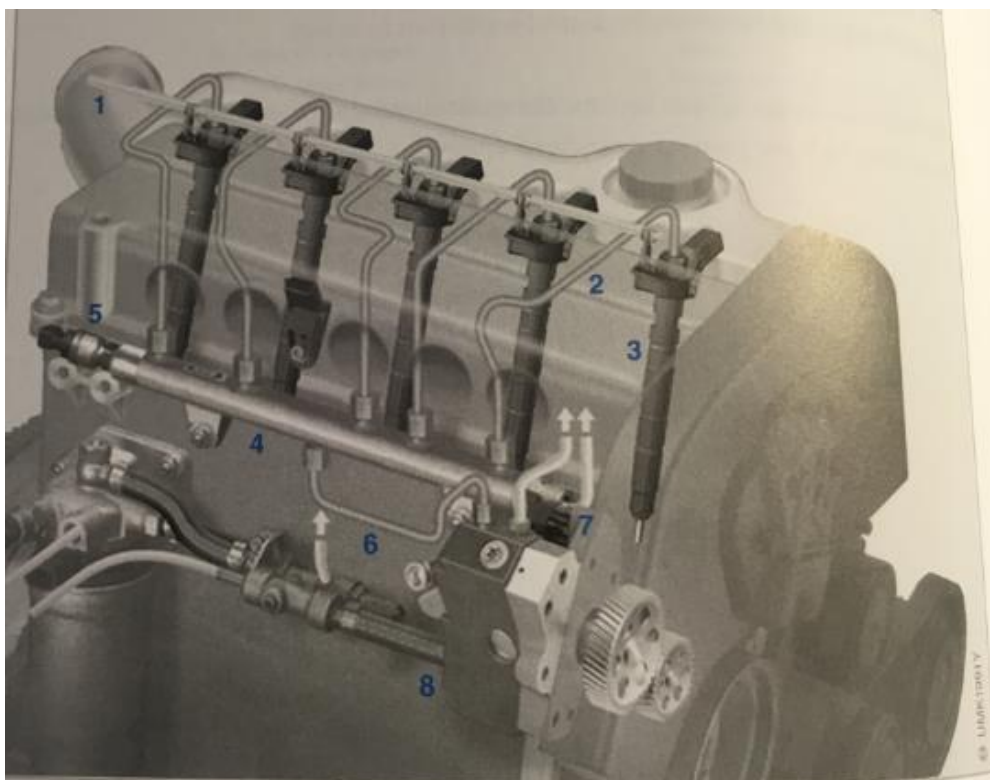
Diiselmootorites pihustatakse kütus vedelana ning kõrge rõhu all põlemiskambrisse. Põlemiskambris kütus aurustub, süttib ja põleb tihendatud õhus. Põlemisel ei tohi tekkida liialt tahma. Selle vältimiseks on oluline hästi peene pihustus, mis saavutatakse kõrge pritserõhuga. [2]

Üldiselt on toiteaparatuuri ülesandeks nõutava pritserõhu tagamine, pritse nõutava kütusekoguse reguleerimine ning pritse alustamine nõutaval hetkel (sh reguleerida pritse algushetke). Mehaaniliselt reguleeritavate reas- ja jaoturpumpadega on raskem lubatud

heite-piirväärtustest kinni pidada kui elektroonilise reguleerimisega toiteaparatuuridega. Sellest tulenevalt on mehaaniliste toiteaparatuuride osakaal turul vähenenud. Tänapäeval kasutatavad elektroonilised diiseltoiteaparatuurid on järgmised [2]:

- ühisanumtüüpi diiseltoiteaparatuur;
- pumppihustid.

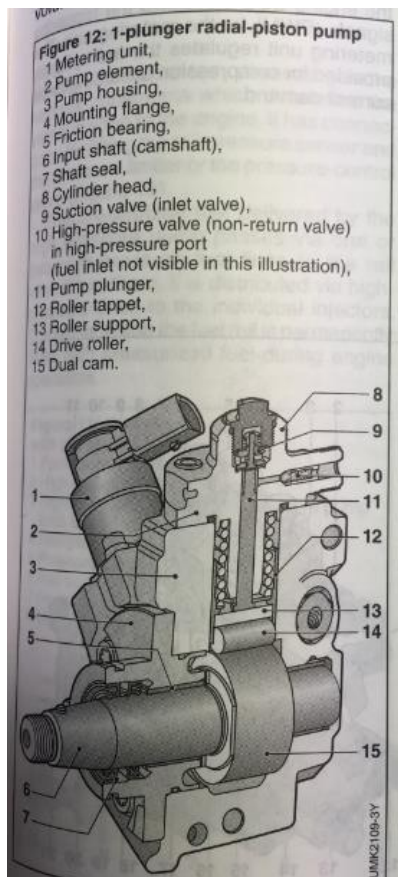
Ühisanumtüüpi toiteaparatuur koosneb madalrõhu- ning kõrgrõhupooldest ja elektroonilisest juhtmoodulist (joonis 1.1). Madalrõhupool jaotub imirõhu-, etteanderõhu- ja tagasivoolupiirkonnaks, sealhulgas kütusepaak, eelsoojendus, filter, etteandepump, elektriline sulgeklapp ja kütuse jahuti. Kõrgrõhupoolel asuvad kõrgrõhutorustik, -pump ja ühisanum ning üks klapp-pihusti iga silindri kohta. Elektrooniline juhtsüsteem koosneb juhtmoodulist ja anduritest, lisaks pihustite solenoidklapid ja sulgurklapid ning ühisanuma rõhureguleerklapp ja kõrgsurvepumba rõhuregulaator [2]



Joonis 1.1. Ühisanumtüüpi toiteaparatuuri osad: 1 – kütuse tagasivooluliin pihustitest; 2 – kõrgrõhutorustik ühisanumast pihustitesse; 3 – elektromagnetpihusti; 4 – ühisanum; 5 – ühisanuma rõhuandur; 6 – kõrgrõhutorustik pumbast ühisanumasse; 7 – kütuse tagasivooluliin ühisanumast; 8 – kõrgrõhupump [4].

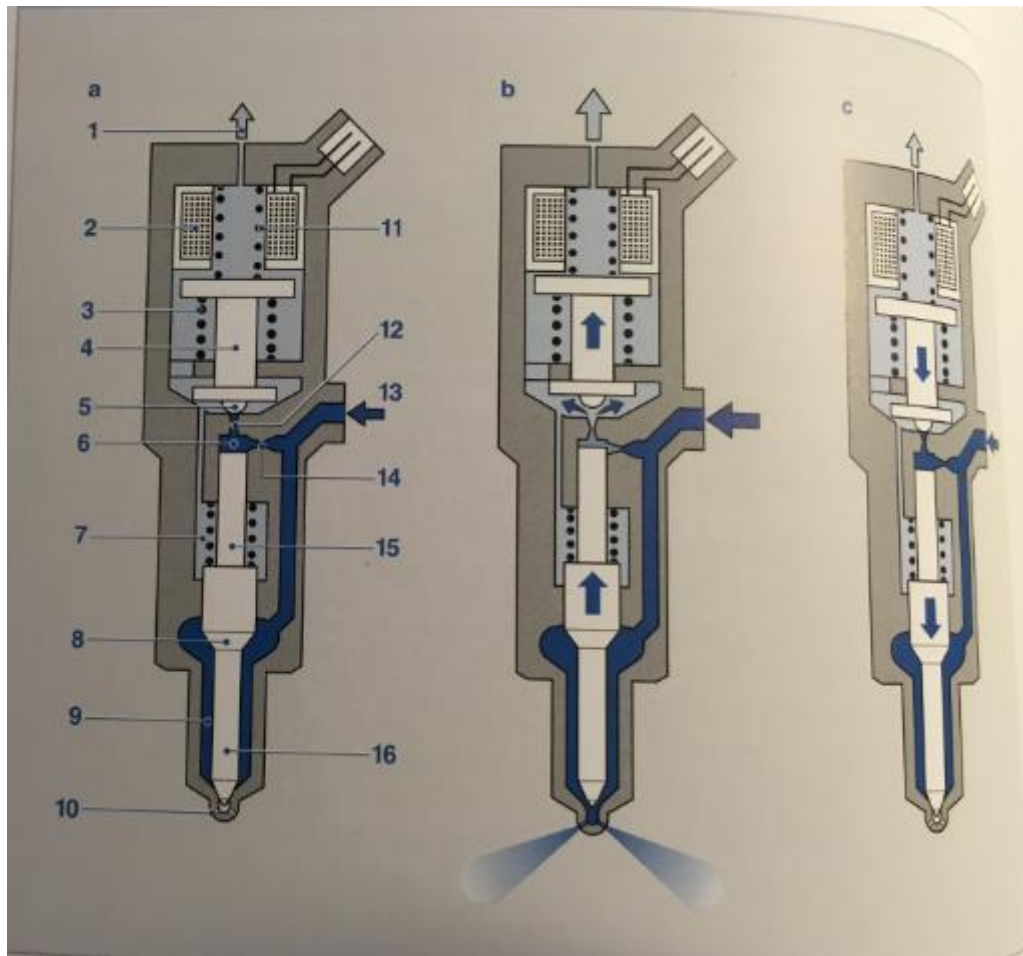
Ühisanumtüüpi diiseltoiteaparatuuri kasutamisel on ühe pihustuskorra kütusekogus jagatud eel-, põhi- ja järelpihustuse vahel, mille abil optimeeritakse müra, põlemist ja heitgaaside järeltöötlust. Ühisanumtüüpi toiteaparatuuri rõhku reguleerib rõhureguleerklapp koormusest ja pöörlemissagedusest lähtuvalt. Pihustuse algus, -kogus, ühisanuma rõhk ja pihustuse käik arvutatakse elektroonilise juhtmooduli poolt töö- ja keskkonnatingimusi arvestades. Rõhu reguleerimine toimub kas ühe või kahe regulaatoriga. [2]

Neljanda põlvkonna kõrgrõhupumbal on kasutusel üks või kaks pumbakolbi, mis on sünkroonitud mootori kolbide käikudega (pumba etteandetak ja mootori sisselasketakt samal ajal) (joonis 1.2). Selle eesmärk on ühtlustada rõhukõikumisi ühisanumas. Kõrgrõhupumbaga kokku ehitatud etteandemöödik reguleerib ühisanumasse suunatud kütuse kogust. [2]



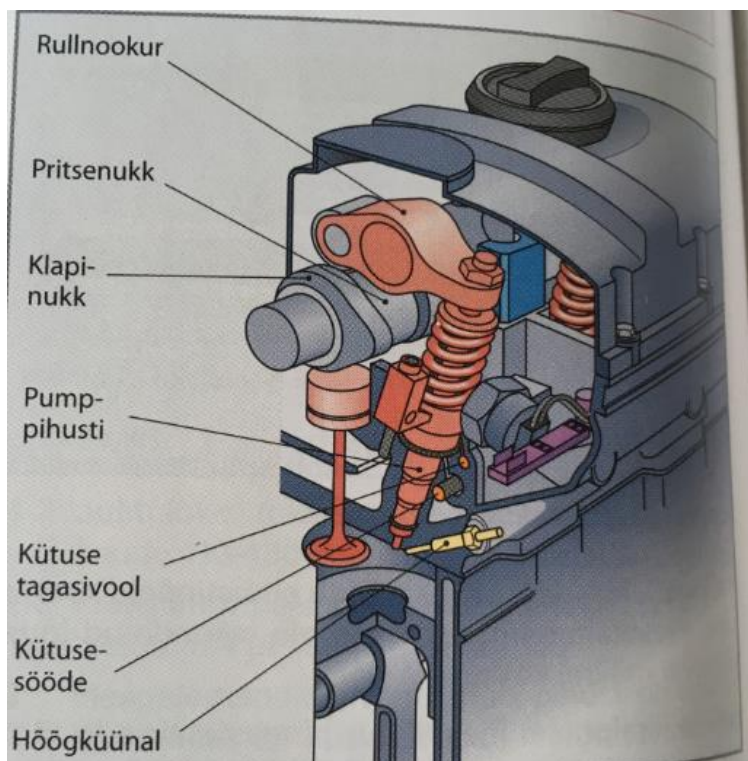
Joonis 1.2. Ühe radiaalkolviga kõrgrõhupump: 1 – pumba rõhuregulaator; 2 – pumba element; 3 – pumba korpus; 4 – pumba kinnitusflants mootorile; 5 – koonuslaager; 6 – pumba nukkvõll; 7 – nukkvõlli tihend; 8 – kõrgsurvesektsiooni pea; 9 – sisselaskeklapp; 10 – kõrgrõhuklapp; 11 – plunžer; 12 – rulltõukuri vedru hoidik; 13 – rulltõukuri vedru alus; 14 – rulltõukur; 15 – ekstsentrisk [15].

Elektromagnetpihusti põhiosad on solenoidklapp, klapiKolb, juhtkamber ja pihustiotsak (joonis 1.3). Pihusti avamine toimub läbi juhtploki, mis pingestab pihustuse algul solenoidi, mille ankur tõmbub üles ja kuulklapp vabastab kütusele tee läbi tagasivooludrosseli. Rõhk juhtkambris väheneb ning pihustinõela koonusele alt mõjuv rõhk tõstab nõela üles ja pihustus algab. Uuemad piesopihustid koosnevad piesotäiturist, hüdrosideist, juhtklapist ja pihustinõelast, mille eesmärk on pihusti nõela täpsem ja kiirem avatusaeg. [2]



Joonis 1.3. Elektromagnet-pihusti skemaatiline esitus: a – pihusti suletud olek; b – pihusti avamine; c – pihusti sulgumine; 1 – kütuse tagasivool; 2 – solenoidklapi mähis; 3 – tagasivooluklapi sulgemise vedru; 4 – solenoidklapp; 5 – tagasivoolu klapp; 6 – juhtkamber; 7 – pihustinõela vedru; 8 – pihustinõela koonus; 9 – pihustinõela juhtkamber; 10 – pihusti düüs; 11 – solenoidklapi vedru; 12 – tagasivooludrossel; 13 – sisselase ühisanumast; 14 – sisselaskedrossel; 15 – klapiKolb; 16 – pihustinõel [4].

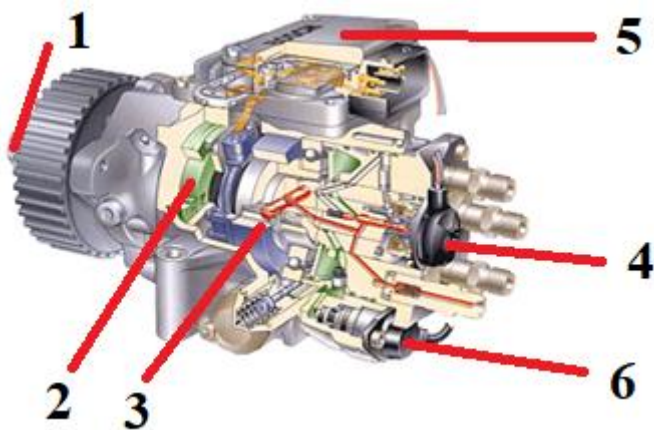
Elektrooniliselt reguleeritava pumppihustitega toiteaparatuuri korral on igal mootori silindril plokikaanes oma pumppihusti (joonis 1.4).



Joonis 1.4. Pumppihusti [2].

Pihustusrõhk pumppihustitega süsteemis on kuni 2200 bar-i. Pumppihusteid käitatakse nukkvõlli ja rullnookuri kaudu pumbakolvi üles-alla liigutades. Pritsenuka profiil on selline, et alla liikumine toimub väga kiiresti kõrge rõhu tekitamiseks, üles liikumine on aeglane ning ühtlane. Kütuse etteandmine toimub etteandepumbaga pumppihusti silindrisse vahetult pärast pumbakolvi üles liikumist. Pumbakolvi alla liikumisega algab eelpritse, kui elektrooniline juhtplokk pingestab solenoidklapi, mis suleb äravoolu. Edasi rõhk pumba silindris tõuseb 180 bar-i juurde, mille korral ületatakse pihustivedru jõud ja pihustinõel avaneb. Pärast avanemist tõusva rõhu tõttu liigub pumba silindri all olev kolb alla, tekib lisaruum, mille toime rõhk hetkeks langeb ja nõel sulgub. Alla liikunud pumbakolb suurendab pihustivedru pingsust, mille toime põhipihustusel tõuseb rõhk kuni 2200 bar-i. Põhipihustus lõpeb, kui juhtplokk vabastab solenoidklapi ja kütus liigub tagasivoolu. Rõhu langedes sulgeb vedru pihusti nõela. [2]

Lisaks on uuritud varasemate sõiduautode, traktorite ja kergemate kaubikute toitesüsteemis kasutust leidnud elektroonilisi jaoturpritsepumpasid (joonis 1.5).



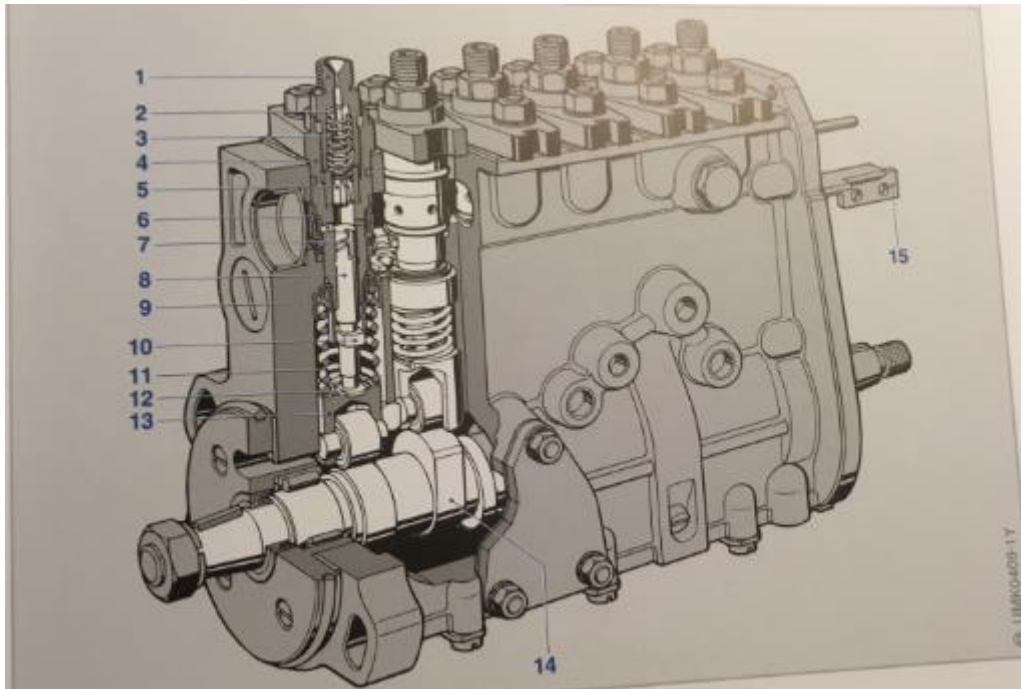
Joonis 1.5. Elektrooniliselt reguleeritava radiaalkolviga jaoturpritsepump [41].

Elektrooniliselt reguleeritava radiaalkolviga jaoturpritsepumba põhiosad on [41]:

- 1) - veovõll;
- 2) - labatüüpi etteandepump;
- 3) - pumba plunžrite käitusmehhanism;
- 4) - solenoidklapp;
- 5) - pumba juhtmoodul;
- 6) - elektrohüdrauliline pihustuse ajastuse regulaator.

Kütuse etteanne on läbi labatüüpi etteandepumba, mille plunžer asetseb pumba käitusvõlli suhtes ekstsentriliselt, tekitades ühel pool suureneva imikambri ja teisel pool väheneva rõhukambri. Pöörlemissageduse kasvamisel suureneb rõhk. Pumba juhtmooduliga reguleeritakse kütuserõhku sõltuvalt sisepõlemismootori pöörlemissagedusest. Läbi etteandekanali ja pealevooluava voolab kütus vaheruumist kõrgrõhupumba plunžrite peale. Pumba plunžrite käitusmehhanismi juurde kuuluva ekstsentrik nukk-rõnga ja plunžrite abil tekitatakse kõrgrõhk. Kütuse pihustamise ajastamiseks on elektrohüdrauliline regulaator. Pihustamise algust ning kestust reguleeritakse solenoidklapi avamise ja sulgemisega. Kui solenoidklapp on suletud, siis rõhukambris rõhk kasvab [2].

Peale elektrooniliste pritseseadiste on endiselt kasutusel ka mehaanilised reas- ja jaoturpumbad (joonis 1.6).



Joonis 1.6. PE reastüüpi kõrgsurvepump 6-silindrilisele diiselmootorile: 1 – kõrgrõhuklapp; 2 – kõrgrõhuklapi vedru tugi; 3 – kõrgrõhuklapi vedru; 4 – plunžri paar; 5 – sisselaskeklapi koonus; 6 – kütuse sisselaskeava; 7 – aktiivsoon; 8 – plunžer; 9 – juhthoob; 10 – plunžri juhthammas; 11 – plunžri vedru; 12 – vedru pesa; 13 – rulltõukur; 14 – nukkvõll; 15 – hammaslatt [16].

Reastüüpi kõrgsurvepumbal on iga mootori silindri kohta üks pumba element (plunžer). Tähtsamad kõrgsurvepumba osad on ekstsentrisk nukkvõll, mille pöörlemissuund ja -kiirus on sama, mis mootori nukkvõllil. Nukkvõll liigutab plunžreid teljesuunaliselt üles-alla, mis suruvad kütuse kõrge rõhu all läbi rõhuklapi mööda kõrgsurvetorustikku pihustitesse. Pumba käitatakse mootori väntvõllilt pumba nukkvõlli otsas oleva hammasratta kaudu. [16]

Erinevate toiteaparatuuride ülevaate andmise eesmärk on paika panna kestuskatsestendi üldine kontseptsioon, millest lähtuvalt oleks võimalik aru saada, milliseid kõrgsurvepumpasid ja -pihusteid saab katsestendis kasutada. Tänapäeval kasutatavatest elektroonilistest toiteaparatuuridest ei saa töös kirjeldatud katsestendis kasutada pumppihusteid nende konstruktsioonilistest iseärasustest lähtuvalt.

1.4. Diiseloiteaparatuuride kestuskatsetused

Teadusmaailmas on uuritud erinevate kütuste ning kütuste segude mõju diiselmootori efektiivsuslikele parameetritele ja heitgaaside emissioonile. Näitena on uuritud, kuidas mõjutavad 10 % ja 20 % butanoli, heptanoli ja oktanoli segud diislikütusega otsesissepritsega ühesilindrilise mootori tööd. Sealhulgas on uuritud kütusesegude põlemisomadusi, mootori efektiivsuslikke näitajaid ning heitmekoguseid ja järeldatud, et näiteks kõrgema alkoholi sisaldusega kütuste segudel on suurem termiline kasutegur (BTE), pikem süüteviivis, väiksem NO_x ja tahma emissioon [26]. Veel on võetud vaatluse alla biodiislikütuse füüsikalised ning keemilised näitajad vastavalt ASTM standarditele ning mõõdetud katsemootoris heitgaaside (sealhulgas CO , CO_2 , NO_x , HC) koguseid [27]. Sellekohase uurimuse tulemustena on välja toodud, et biodiislikütuse segude B10 ja B20 (vetika- ning palmiõli baasil) kasutamisel CO , CO_2 ja HC heitgaaside kogused on madalamad kui tavalisel diislikütusel, aga toiduõli baasil B20 ja B10 biodiislikütuse CO_2 heitgaasikogused on suuremad kui tavalisel diislikütusel ning kõigi vaatluse alla võetud biodiislikütuste NO_x heitme kogused suurenesid võrreldes tavalise diislikütuse kasutamisega [27]. Lisaks on uuritud biodiislikütuse (ISO 4113 standardi kütus) mõju ühisanumtüüpi kõrgsurvepumba töö parameetritele ning selgitatud suuremat kütuse etteannet mootori võimsustarbe suhtes [28].

Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudis on välja töötatud standardi ASTM D6898-03(2010) alusel mõõtemetoodika ühisanumtüüpi diiseloiteaparatuuri töödetailide kulumise mõõtmiseks kestuskatsestendis, kasutades bioetanooli. Lisaks kätkeb antud metoodika testplaani ehk toiminguid enne ja pärast katsetuste tegemist selleks kohandatud katsestendis. Vastavalt artiklis kirjeldatud juhendile on vaja jäädvustada ning mõõta järgmised pihusti ja pumba detailid: pihusti nõel, tagasivoolu tõukurvarras ja -klapp, pumba nukkvõll, plunžer ja plunžrihülss. Vastavalt artiklis kirjeldatule on minimaalne katse kestus 200 tundi, pumba võlli pöörlemissagedus 1000 ± 25 p/min. Kütuse temperatuur on etteantud 40 ± 5 °C, ühisanumtüüpi diiseloiteaparatuuri kasutamisel on lubatud maksimaalne kütuse temperatuur ühisanumas ehk kütuselatis 150 °C. Rõhk latis on seatud 1350 ± 10 bar. Pihustite kontrollimiseks on nõutud vahemõõtmised iga 20 ± 1 tunni järel. Pihusti nõela ja tagasivoolu tõukurvarda mõõtmestamine tuleb teha kolmelt erinevalt kõrguselt ehk tööpinnalt ning ringsuse määramisel teostada igal tööpinnal mõõtmised kolmest eri punktist, pöörates detaili

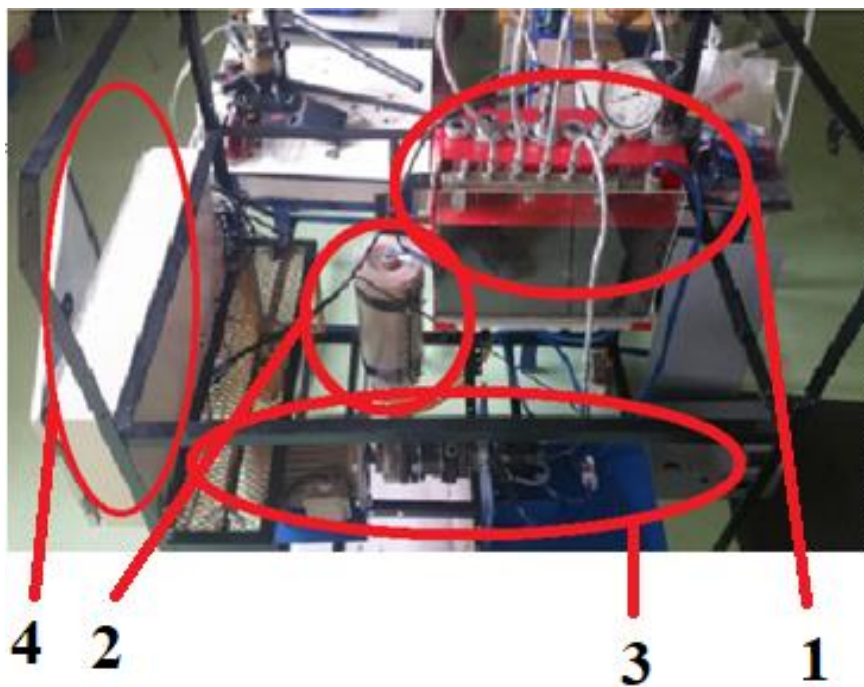
kaks korda 120 kraadise nurga võrra. Tagasivoolu klapi mikroskoobiga jäädvustamise eesmärk on kindlaks teha võimalikud kulumis- ja ülekuumenemis jäljed ning sadestused. Pihusti detailide mõõtmisel tööpinna ehk õige kõrguse määramisel on lubatav eksimus ± 1 mm. Pumba detailidest on kõige olulisemad plunžrid, mis tekitavad tööõhu süsteemis. Mõõtmestamine ning jäädvustamine toimub sarnaselt pihusti detailidele kolmelt eri tööpinnalt. Pumba nukkvõlli mõõtmestamine toimub kolmest kohast: kaks äärmist laagripinda ning nende vahel asetsev plunžrite tõukurhülsi kontaktpind. Laagripindade juures on oluline leida mõõtmiseks keskpunkt, tõukurhülsi alune kontaktpind on jaotatud kaheks mõõtmispunktiks: esimene kaugusel $\frac{1}{4}$ kontaktpinna kogupikkusest ja teine $\frac{3}{4}$ kontaktpinna kogupikkusest. Artiklis on välja toodud pumba tsükletteande V_f , ebaühtlusteguri kütuse etteandel δ_f , ja kütuse tunnikulu B_f arvutamiseks vajalikud valemid. [6]

Vähe on uuritud diiseltoiteaparaatide kulumist standikatsustega. Seetõttu on oluline täiendavalt uurida kütuste mõju diiseltoiteaparaatide töödetailidele.

2. KESTUSKATSESTENDI PROJEKTEERIMINE

2.1. Olemasoleva kestuskatsestendi konstruktsioonianalüüs

Keio Kūiti magistritöös projekteeritud ning konstrueeritud stendi alusel koostati analüüs, mille põhjal oleks võimalik teha vajaminevad muudatused kestuskatsetuste läbiviimiseks (joonis 2.1).



Joonis 2.1. Olemasolev kestuskatsestend: 1 – mensuurikast; 2 – kütusepaak; 3 – pumba kinnitus ja ülekande detailid; 4 – juhtelektroonika [3].

Esialgne stendis kasutatud elektrimootor ei olnud piisavalt võimas ühisanumtüüpi toiteaparatuuri pumba ja pihustite katsetamiseks etteantud rõhul (minimaalselt 1000 bar). Lisaks peab uue mootori käitamine toimuma vastavalt välja töötatud mõõtemetoodikale erinevatel pöörlemissagedustel, mida olemasolev sagedusmuundur ei võimaldanud. Seoses uue mootori valikuga on vajalik välja töötada spetsiaalne pumba kinnitus, mis sobiks erinevatele kõrgsurvepumpadele, olles samal ajal tsentreeritud vastavalt mootorile. Eelneva

tudengi poolt soetatud leevendit soovitakse ka edasi kasutada, kuna seeläbi on võimalik oluliselt mootori ja pumba vahelisi vibratsioone vähendada. See tähendab aga koormuskaitse osalist modifikatsiooni uue mootori tarbeks ning uut pumba ja leevendi vahelist lüli (lisa 4).

Stendile konstrueeritud mensuurikast ei osutunud lekkekindlaks ning samuti oli see küllalt raske, vähendades seeläbi stendi mobiilsust. Uue mensuurikasti projekteerimisel on oluline tagada mensuuride pöördvõlli telgsus ning paralleelsus mensuurikasti suhtes. Mensuurikastist väljavoolava kütuse tarbeks on oluline projekteerida selleks sobiv põhi, mis paigutuks kasti ning suunaks kütuse paaki. Kütusepaak peab olema lekkekindel ning selle paigutust stendis tuleb muuta. Pealevool paagist pumbani on vaja teha kraaniga, et vajadusel kütuseid vahetada. Tagasivool peab olema võimaldatud pumbast ja mensuurikastist, ühisanumtüüpi toiteaparatuuri kasutamisel lisaks kütuselatist. Ülerõhu vältimiseks on otstarbekas kütusepaagi ja mensuurikasti vahele projekteerida õhutusava.

Pihustite juhtimiseks koostatud elektroonikaskeem ning kontrolleri algoritm ei olnud ühisanumtüüpi kõrgsurvepumba ning pihustite käitamiseks piisav. Projekteerimisel on oluline välja selgitada tunnusjoon, mille järgi pihustite juhtimine peab toimuma ning vastavalt sellele tuleb koostada uus elektroonikaskeem. Katsestendi mobiilsuse suurendamiseks on plaanis koostada lisautomaatika mensuuride pööramiseks ja mõõtetulemuste jäädvustamiseks.

2.2. Kestuskatsestendi mehaanilise osa projekteerimine

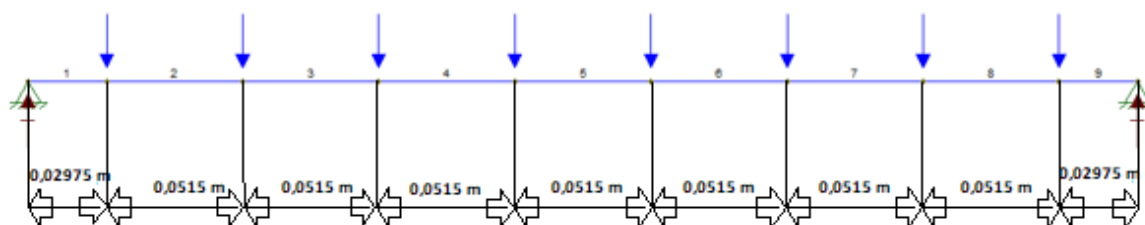
Mensuurikasti projekteerimisel oli nõue tagada valmis kasti hermeetilisus ning korrosioonikindlus, et tagada võimalikult adekvaatsed katsetingimused ning -tulemused. Üks võimalik lahendus on kasutada komposiitmaterjali ning vormi võtmise tehnoloogiat. Tabelis 2.1 on välja toodud armeeritud kiu mehaanilised omadused, töö lisades (lisa 1) on esitatud mensuurikasti põhiosade joonised ning kasti koostejoonis, kus on märgitud erinevate detailide asetus, omavahelised seosed ning kinnituskohad.

Tabel 2.1. Armeeritud kiu mehaanilised omadused [1:222]

Margitähis	Süsinikkiud CF
Tihedus (kg/m^3)	1600-2000
Tõmbetugevus (N/mm^2)	1750-5000
Katkevenivus (%)	0,35-2,1
Eriomadused	Ekstreemselt anisotroopne, suur tugevus, kerge, korrosioonikindel, hea elektrijuhtivus
Kasutusnäited	Võidusõiduautode osad, jahtide mastid, lennukite ja kosmoseaparaatide osad

Süsinikkiud kangas on pikk ning õhuke (0,005-0,010 mm) materjal, milles süsiniku aatomid on omavahel põimituna moodustanud paralleelse kristallvõre struktuuri. Ligi 90% süsinikkiud kangast on toodetud poliäkrülnitriilist (PAN). Süsinikkiudu liigitatakse tõmbetugevuse alusel viite klassi: madal, standardne, keskpärane, hea ja suurepärase. Võrreldes erinevate roostevabade- ja konstruktsiooniteraste ning alumiiniumisulamitega on süsinikkiud tugevam ning oluliselt kergem ja väsimuskindlam. [19]

Mensuuride pöördvõlli telgsuse jaoks sai projekteeritud võll, mis toetub mõlemast otsast Igus laagritele (lisa 1). Pöördvõlli vastupidavuse hindamisel teostatakse tugevusarvutus paindemomendile, läbi mille on võimalik leida pöördvõlli minimaalne lubatav läbimõõt [18:197]. Maksimaalne koormus võllile on 2,67 kg (arvestatud kaheksa mensuuriga, mille suurim ruumala on kokku 800 ml ning täidetud katse kütusega, mille suurim tihedus on 900 kg/m^3 (tabel 1.1), lisaks mensuuride roostevabast terasest (aisi 304) alusplaadi ja klaaside kinnituste enda massid). Joonisel 2.2 on kujutatud skemaatiliselt võll koos kinnitustingimustega (fikseeritud nii vertikaalse kui ka horisontaalse telje suhtes) ning kaheksat punkti, kuhu etteantud koormus võrdselt jaotub.

**Joonis 2.2.** Mensuuride pöördvõlli koormuste skeem koos kinnitustingimustega.

Paindemomendiepüüri koostamiseks tuleb esmalt leida koormused etteantud punktides (kohad, kuhu on kinnitatud mensuurid):

$$F_n = \frac{m}{8} \cdot g, \quad (2.1.)$$

kus m on kaal ühes etteantud punktis kg;

g – raskuskiirendus Maal m/s^2 ;

F_n – koormus ühes etteantud punktis N.

Valemist 2.1 leian koormuse ühes määratud punktis:

$$F_n = \frac{2,67}{8} \cdot 9,81 = 3,27 \text{ N}$$

Edasi leitakse toereaktsioonid otspunktides (tähistan V_A ja V_B), eeldades mõlemad vertikaalsed reaktsioonid mõjuvatena alt üles [18:46]:

$$\begin{aligned} \Sigma M_A = 0: & -3,27 \cdot 0,02975 - 3,27 \cdot 0,08125 - 3,27 \\ & \cdot 0,13275 - 3,27 \cdot 0,18425 - 3,27 \\ & \cdot 0,23575 - 3,27 \cdot 0,28725 - 3,27 \\ & \cdot 0,33875 - 3,27 \cdot 0,39025 + V_B \cdot 0,42, \end{aligned} \quad (2.2.)$$

kus ΣM_A on moment otspunktis A $\text{N}\cdot\text{m}$;

V_B – toereaktsioon otspunktis B N.

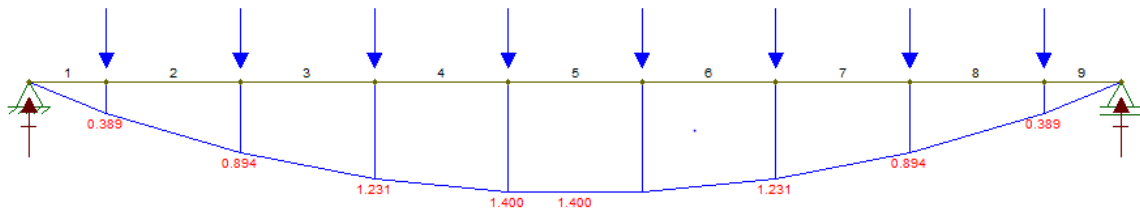
Avaldan valemist 2.2 V_B ning arvutan:

$$V_B = \frac{5,4936}{0,42} = 13,08 \text{ N}$$

Süsteemi tasakaalutingimustest lähtuvalt leian toereaktsiooni punktis A:

$$V_A = 3,27 \cdot 8 - 13,08 = 13,08 \text{ N}$$

Joonisel 2.3 on koostatud paindemomendiepüür, kasutades vabavaralist tarkvara Ftool.



Joonis 2.3. Mensuuride pöördvõlli paindemomendiepüür.

Suurim paindemoment tekib neljanda ja viienda lõigu vahel, lisaks joonisel kujutatud väärtustele kontrollitakse arvutuslikult suurima paindemomendi väärtus:

$$M_{4,5} = 13,08 \cdot 0,18425 - 3,27 \cdot 0,1545 - 3,27 \cdot 0,103 - 3,27 \cdot 0,0515 = 1,3996 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Pöördvõlli minimaalse läbimõõdu saab leida tugevustingimusest [18:198]:

$$\max \delta = \frac{\max M}{W} \leq \delta_{adm}, \quad (2.3.)$$

kus $\max \delta$ on materjali piirpinge (voolepiir) N/mm^2 ;

δ_{adm} on materjalile lubatav pinge N/mm^2 ;

$\max M$ – võlli maksimaalne paindemoment $\text{N} \cdot \text{m}$;

W – valitud materjali telgvastupanumoment mm^3 .

Materjalina kasutab autor roostevaba terast (aisi 304), mille mehaanilised omadused on toodud tabelis 2.2.

Tabel 2.2. AISI 304 roostevaba terase mehaanilised omadused [17]

Margitähis	Austeniitteras
Tõmbetugevus (N/mm ²)	505
Voolepiir (N/mm ²)	215
Katkevenivus (%)	70

Lubatud normaalpinge on leitav valemist [18:165]:

$$\delta_{adm} = \frac{R_{eh}}{[S]}, \quad (2.4.)$$

kus R_{eh} on materjali voolepiir N/mm²;

$[S]$ – varutegur.

Terase varuteguriks valin 1,5 [18:162]. Valemist 2.4 lubatud normaalpinge väärtus:

$$\delta_{adm} = \frac{215}{1,5} = 143,3 \text{ N/mm}^2$$

Ringikujulise ristlõikega võlli telgvastupanumoment (W) on leitav valemist [18:194]:

$$W = \pi \cdot \frac{d^3}{32}, \quad (2.5.)$$

kus d on võlli läbimõõt mm;

W – valitud materjali telgvastupanumoment mm³.

Asendades valemi 2.5 valemisse 2.3 on võimalik avaldada minimaalne läbimõõt (d):

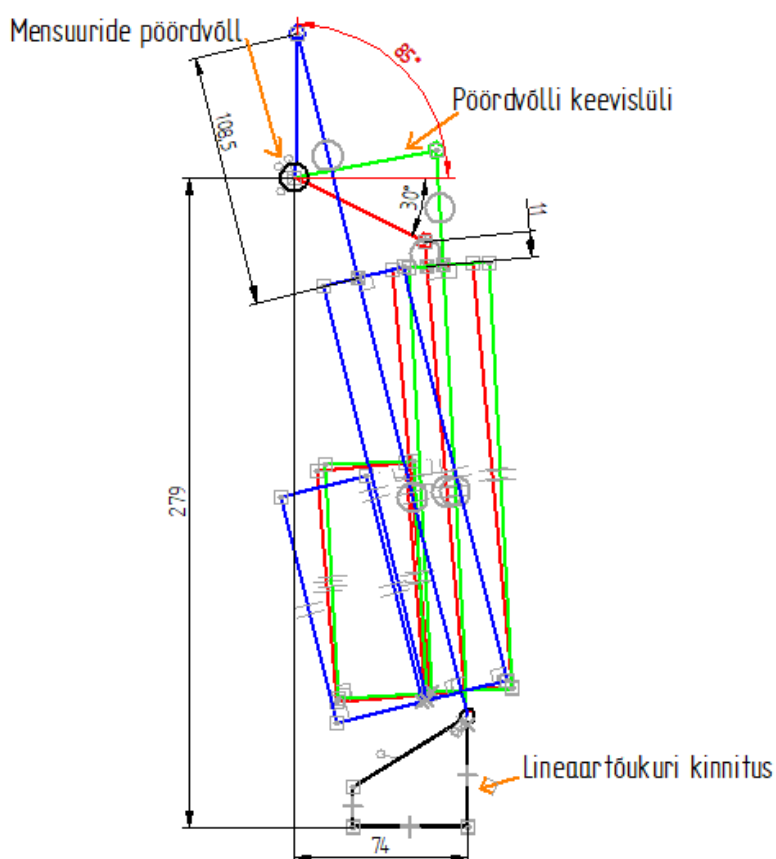
$$d = \sqrt[3]{\max M \cdot 10^3 \cdot 32 / (\pi \cdot \delta_{adm})} \quad (2.6.)$$

Valemist 2.6 on võimalik arvutada minimaalne läbimõõdu väärtus:

$$d = \sqrt[3]{1,3996 \cdot 10^3 \cdot \frac{32}{\pi \cdot 143,3}} = 4,63 \text{ mm}$$

Seega valitava mensuuride aluse pöörvõlli läbimõõt ei tohi olla väiksem kui 4,63 mm.

Mensuuride pööramine otsustati automatiseerida. Seda põhjusel, et kestuskatse on aeganõudev ning pidevalt katsestendi juures viibimine ei ole otstarbekas. Üks võimalik lahendus selleks on täiendada mensuuride pööramise võlli ning koostada varbmehhanism, kus ajamina saaks kasutada lineaartõukuri üles-alla liikumist. Lineaartõukuri asukoha määramiseks stendis, lähtuvalt mensuuride pööramise võllist, on koostatud joonis 2.4.



Joonis 2.4. Lineaartõukuri asukoha määramine stendis.

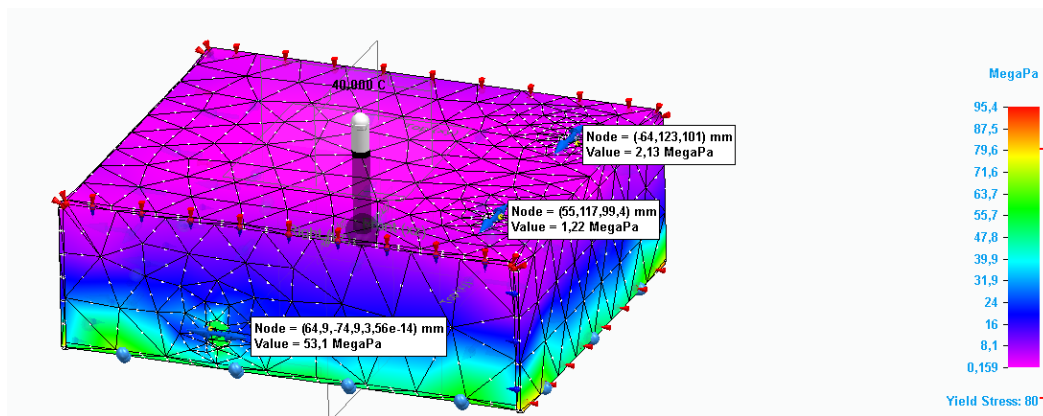
Pöördvõlli külge kinnitatud keevislülili on horisontaal tasapinnast viidud allapoole 30° nurga võrra ning pöördnurk kogu ette antud lineaartõukuri käigu korral on 115°. Vastav pöördnurk on oluline, et katsekütus voolaks klaasidest välja mensuurikasti. Lisa 1 esitatud mensuuride pöördvõlli poltlülili esialgset nurka ei ole ette antud, sest seadistamine toimub lähtuvalt lõpulüliti asendist, mille kirjeldus on esitatud kestuskatsestendi elektroonilise juhtimise peatükis. Vastavalt joonisele 2.4 sai valitud lineaartõukur, mille käigupikkus on 100 mm [34]. Tõukuri kinnitamiseks vajaminevatest lisadetailidest on koostatud joonised ning esitatud need töö lisades (lisa 5). Automaatika toimimiseks vajalik elektroonika osa on toodud välja töö järgmises peatükis.

Kütusepaak otsustati projekteerida alumiiniumist ning valmis koostejoonis paagist on esitatud töö lisades (lisa 2). Kütusepaagi projekteerimisel ja voolikute valimisel on arvestatud erinevate kütuste omadusi. Solid Edge simulatsioonikeskkonnas koostati paagile tugevusanalüüs uurimaks pingeid, mis paagis tekivad (joonis 2.5). Võrdluses kasutatava materjali voolepiiriga, mille mehaanilised omadused on esitatud tabelis 2.3, on uuritud pinge väärtusi avade juures ning need joonisel eraldi välja toodud.

Tabel 2.3. EN AW 5754 mehaanilised omadused [1:190]

Margitähis	Al Mg3
Paksus (mm)	3
Tõmbetugevus (N/mm ²)	190
Voolepiir (N/mm ²)	80
Katkevenivus (%)	18
Kasutusnäited	Aparaadi- ja lennukitööstus, auto kereosad, vormide valmistamine

Avade suurima tähelepanu alla seadmise eesmärk on kontrollida, et jäävad deformatsioonid ei tekiks avade juures ehk pingeväärtused nendes punktides ei tohiks ületada materjali etteantud voolepiiri väärtust, milleks on 80 MPa. Kui avade juures tekivad jäävad deformatsioonid, siis on oht, et liitmike lisamisel paagile jäävad need kohad kütust lekkima.



Joonis 2.5. Kütusepaagis tekkivate pingete analüüs.

Analüüsi koostamisel simulatsioonikeskkonnas on vajalik eelnevalt leida kütuse poolt tekitatav rõhk paagis [1:42]:

$$P_e = g \cdot \rho \cdot h, \quad (2.11.)$$

kus P_e on hüdrostaatiline rõhk Pa;

g – raskuskiirendus Maal m/s^2 ;

ρ – katsekütuse maksimaalne võimalik tihedus kg/m^3 (tabel 1.1);

h – vedeliku maksimaalne sügavus m.

Valemist 2.11 leian hüdrostaatilise rõhu arvvaartuse:

$$P_e = 9,81 \cdot 900 \cdot 0,0979 = 864,36 \text{ Pa}$$

Peale rõhu määramist paagi sisepinnale tuleb arvestada ka katse käigus tekkivate temperatuuri tõusudega, mis tähendab, et vastavalt koostatud mõõtemetoodikale on paagist väljavoolava kütuse temperatuur $40 \pm 5^\circ\text{C}$ [6]. Seega on joonisel 2.5 leitud pinge väärtused 40°C juures. Analüüs näitas, et kõige suuremad pinged on pealevoolu ava juures 53,1 MPa, mis jäävad allapoole materjali voolepiiri 80 MPa.

Mensuurikasti ja kütusepaagi tugiraam

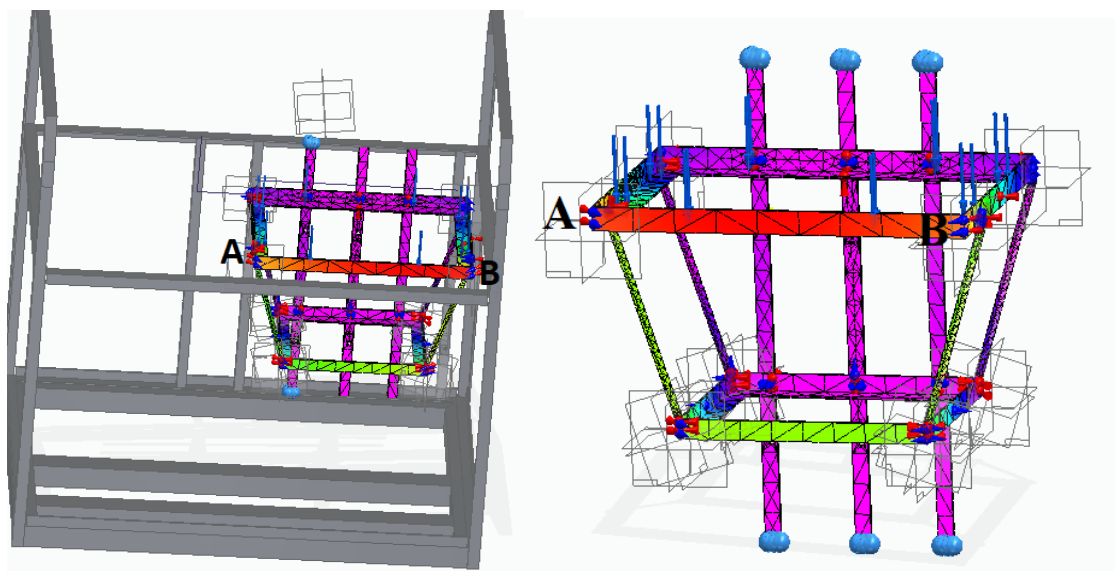
Järgnevalt projekteeriti kasti ja paagi kinnitamiseks joonisel 2.6 kujutatud tugiraam, mille koostejoonis on leitav töö lisades (lisa 3). Projekteerimisel arvestati asjaoluga, et autoril on

olemas võrdkülgse nurkprofiiliga teras (materjal S235J0), mille mehaanilised omadused on kujutatud tabelis 2.4.

Tabel 2.4. Teras mehaanilised omadused [1:131]

Margitähis	S235J0
Purustustöö	27J (džaul) temperatuuril 0°C
Tõmbetugevus (N/mm ²)	360...510
Voolepiir (N/mm ²)	235
Katkevenivus (%)	26
Kasutusnäited	Kergkoormatud ehitus- ja masinaehituskeeviskonstruktsioonid, poldid, võllid, teljed

Joonisel 2.6 on värvidega kujutatud lõplike elementide meetodiga leitud lõigete asukohad lähtuvalt keeviskonstruktsiooni vastupidavusest erinevates ristlõigetes. Analüüsi käigus tuli määratlada kinnitustingimused ning nende asukohad, samuti omistada raamile koormused. Vastavalt analüüsi tulemusele on vaja leida projekteeritud raami suurim läbipaine talale AB.



Joonis 2.6. Mensuurikasti ja kütusepaagi tugiraami tugevuse analüüs.

Läbipainde arvutamiseks kasutatakse Vereštšagini võtet, mis on sisult Mohri integraali arvutamine, kui vähemalt ühel paindemomentidest on sirgjooneline epüür. Talade ning raamide korral on ühikjõule vastav epüür alati lineaarne. [18:335]

Joonisel kujutatud kriitilise tala AB läbipainde arvutamiseks tuleb esmalt leida talale mõjuv koormus. Töö lisa (lisa 1) on esitatud mensuurikasti koost, millel on kirjanurgas välja toodud koostu mass 12,2 kg. Arvestada tuleb veel tala enda massiga 0,64 kg [1:166]. Valemist 2.1 arvutatakse raami ülemisele osale tekkiv koormus (F_n):

$$F_n = (12,2 + 0,64) \cdot 9,81 = 126,0 \text{ N}$$

Arvutusskeemi lihtsustamiseks eeldatakse leitud koormus talale AB mõjuva joonkoormusena, mis ökonoomsusest seisukohast ei ole kõige parem, sest reaalse käsitluse järgi jaotub kogu koormus kõigi nelja tala vahel ja oleks seetõttu väiksem, aga kuna materjal on valitud, silmas pidades olemasolevaid vahendeid ning konstruktsioonilisi eripärasid, siis vastupidavuse hindamisel läbipainde arvutamisega on antud käsitus otstarbekas:

$$q = \frac{F_n}{l}, \quad (2.7.)$$

kus q on talale AB mõjuv joonkoormus N/mm;

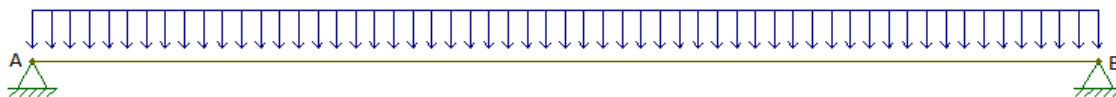
F_n – raamile mõjuv kogukoormus N;

l – tala AB pikkus mm.

Valemist 2.7 saab arvutada talale AB mõjuva joonkoormuse väärtuse, kui on teada tala pikkus 475 mm (lisa 3):

$$q = \frac{126,0}{475} = 0,2653 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Joonisel 2.7 on koostatud vabavaraalse tarkvaraga (Ftool) arvutusskeem.



Joonis 2.7. Tala AB arvutusskeem.

Analoogselt valemile 2.2 on paindemomendi epüüri koostamiseks vaja leida tala AB otspunktides mõjuvad toereaktsioonid:

$$\sum M_A = 0: -q \cdot 475 \cdot 237,5 + V_B \cdot 475$$

Koostatud momendivalemist on võimalik avaldada otspunktis B mõjuv toereaktsioon, kui joonkoormus (q) on 0,2653 N/mm:

$$V_B = \frac{0,2653 \cdot 475 \cdot 237,5}{475} = 63,0 \text{ N}$$

Süsteemi tasakaalutingimustest lähtuvalt leian toereaktsiooni tala otspunktis A:

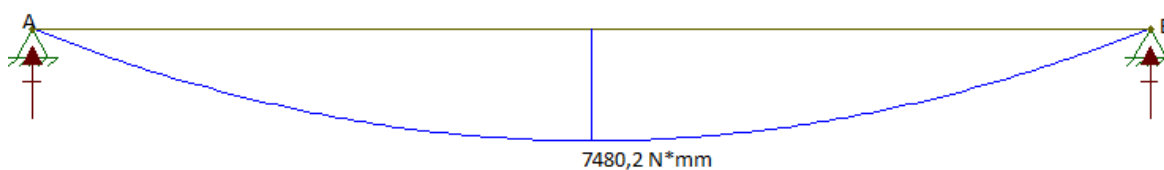
$$V_A = 0,2653 \cdot 475 - 63,0 = 63,0 \text{ N}$$

Edasi on vaja koostada tala AB paindemomendiepüür. Paindemomendid arvutatakse tala punktides A, B ja C. Punkt C on tala AB keskpunkt.

$$M_A = M_B = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

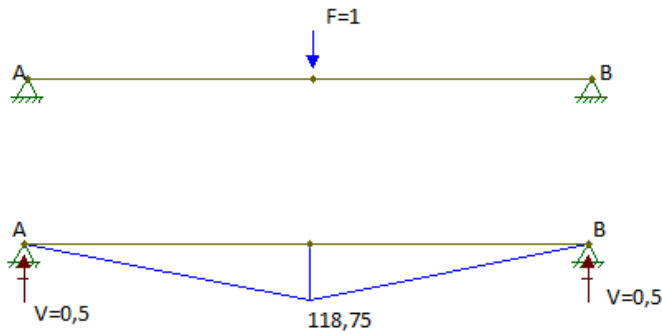
$$M_C = 63,0 \cdot 237,5 - 0,2653 \cdot 237,5 \cdot 118,75 = 7480,2 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Vastav paindemomendiepüür on kujutatud joonisel 2.8.



Joonis 2.8. Tala AB paindemomendiepüür.

Jooniselt 2.9 on näha, et otsitav siire on punktis C. Vastavalt Vereštšagini võttele on otsitava siirde määramiseks vaja rakendada toele C ühikjõud ning leida toereaktsioonid ja paindemomendiepüür vastava ühikjõu rakendamisel [18:338]. Joonisel 2.9 on kujutatud ühikjõu arvutuskeem koos leitud toereaktsioonide ning paindemomendiepüüri.



Joonis 2.9. Tala AB ühikjõu arvutuskeem koos paindemomendiepüüri.

Otsitava siirde määramiseks on välja toodud valem [18:336]:

$$\Delta = \frac{\Omega_M \cdot m_C}{E \cdot I}, \quad (2.8.)$$

kus Δ on siire otsitavas punktis mm;

Ω_M – esialgse paindemomendiepüüri pindala mm²;

m_C – lineaarse momendi väärtus esialgse paindemomendiepüüri pinnakeskme kohal mm;

E – valitava materjali elastsusmoodul MPa;

I – valitava materjali ristlõike inertsimoment mm⁴.

Võrdkülgse nurkprofiili 30x30x3 inertsimoment on 14000 mm⁴ [1:166]. Teraselastsusmooduliks valin 200000 MPa [18:110]. Esialgse paindemomendiepüüri pindala ning pinnakeskme asukoha saan leida valemitega [20:49]:

$$\Omega_M = \frac{2}{3} \cdot L \cdot h, \quad (2.9.)$$

kus L on esialgse paindemomendiepüüri aluse pikkus, mm;

h – esialgse paindemomendiepüüri parabooli haripunkti kõrgus, mm;

Ω_M – esialgse paindemomendiepüüri pindala, mm².

$$m_C = \frac{5}{8} \cdot L \quad (2.10.)$$

kus L on esialgse paindemomendiepüüri aluse pikkus mm;

m_C – lineaarse momendi väärtus esialgse paindemomendiepüüri pinnakeskme kohal mm.

Valemite 2.9 ja 2.10 integreerimisel valemisse 2.8 on võimalik avaldada punkti C siire kahe poolparabooli korrutisena:

$$\Delta = \frac{1}{200000 \cdot 14000} \cdot 2 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 237,5 \cdot 7480,2 \cdot \frac{5}{8} \cdot 118,75 \right) = 0,063 \text{ mm}$$

Suurim leitud läbipaine projekteeritud raamil on 0,063 mm. Lubatud läbipaine valitakse enamasti vahemikus $(f/200 \dots f/1000) \cdot l$, kus l on konsooli või lihttala tugede vaheline pikkus [21:23]. Arvutatud tala AB lubatud läbipaine ($[f]$) on seega:

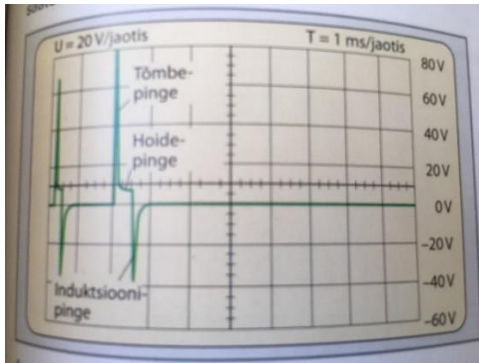
$$[f] = \frac{0,063 \text{ mm}}{200} \cdot 475 \text{ mm} = 0,150 \text{ mm}$$

Leitud läbipaine projekteeritud raamil on seega väiksem kui lubatud läbipaine.

Kõrgsurvepumba kinnitusflanši ja ülekande detailide joonised on toodud töö lisades (lisa 4). Kinnitusflanši projekteerimisel on arvestatud töö esimeses peatükis kirjeldatud diiseltoiteaparatuuride tööpõhimõtte ja kinnitamise eripärasid. Kõige tähtsam on paika seada kinnitusflanši esitahu ava tsentri asukoht elektrimootori võlli tsentri suhtes. Erinevat tüüpi kõrgsurvepumpade kasutamiseks on kinnitusflanši alusplaadile (lisa 4) projekteeritud juhtsoon, milles on võimalik mootori ja pumba vahelist kaugust reguleerida.

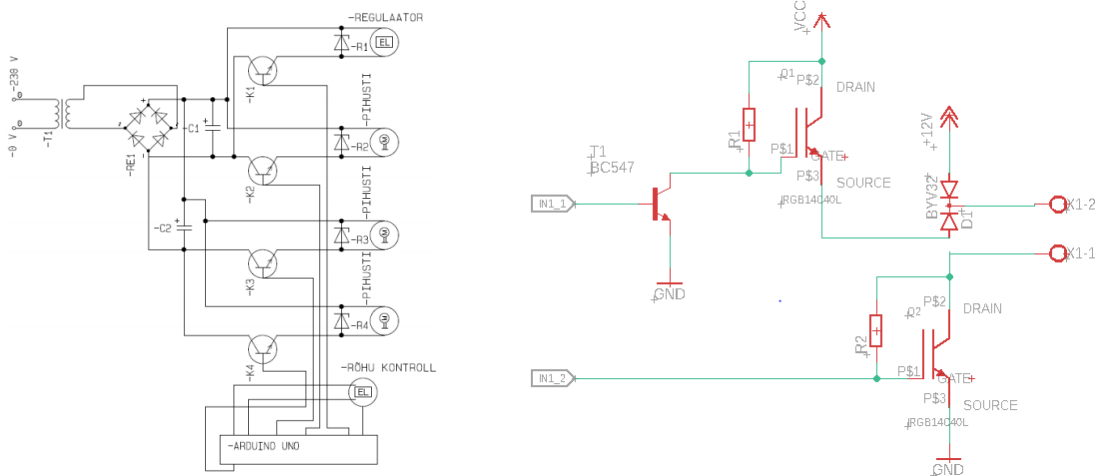
2.3. Kestuskatsestendi elektrooniline juhtimine

Olemasolevat elektroonikat sai pärast mehaanilise osa konstrueerimist testitud. Pihustite juhtimiseks valitud komponendid ning koostatud elektroonikaskeem ei olnud piisav, mis väljendus pihustite mähiste liigeses soojenemises. Pihustite avamiseks kasutati alalispinget 12 V, sõltuvalt pihusti solenoidklapi elektrilisest võimsusest on sellise pinge korral voolutugevus üle lubatud piiri (elektromagnetpihustite voolutugevus kuni 20 A). Elektromagnetpihusti pinge nõutav tunnusjoon on välja toodud joonisel 2.10.



Joonis 2.10. Elektromagnetpihusti juhtpinge tunnusjoon [2].

Jooniselt 2.10 on näha, et pihusti solenoidklapi avamiseks vajalik tõmbepinge on 70...80 V DC (alalispinge) ning kestus ligikaudu 1 ms (millisekund). Hoidejärgus langetatakse pinge 12 V DC ning hoidepinge ajaline kestus on ligikaudu 1,5 ms. Elektri ahela katkestamisel tekib magnetvälja kadumisel solenoidis induksioonipinge, mille salvestamiseks on vaja juhtplokki lisada pingetõstekondensaator [2]. Pihustite juhtimiseks on väljatöötatud uus meetod ja koostatud joonisel 2.11 kujutatud elektroonikaskeem, millele on juurde lisatud olemasoleva kestuskatsestendi elektroonikaskeem.



Joonis 2.11. Olemasolev elektromagnetpihustite juhtimise elektroonikaskeem (vasakpoolne) ning uus elektromagnetpihusti juhtimise elektroonikaskeem.

Uue meetodi korral kasutatakse pingellikana TMB trafot, mille sisend on 230 V AC (vahelduvvool) ning väljund 12 V AC. Pinge aldamiseks on enne joonisel 2.11 kujutatud elektroonikaskeemi dioodsild. Ühe elektromagnetpihusti juhtimiseks kasutatakse kahte

juhtpinget: 12 V DC juhtpinge lülitatakse skeemile läbi kondensaatori otse dioodsillast, teise juhtpinge, 70 V DC, lülitamiseks kasutatakse pärast dioodsilda 20 A 1200 W DC-DC pingemuundurit. Tervik pihustite juhtimise elektroonikaskeem koos pumba rõhuregulaatori juhtimisega on kujutatud töö lisades (lisa 8). Joonisel 2.11 kasutatud elektroonika komponentide loetelu on esitatud tabelis 2.5.

Tabel 2.5. Elektromagnetpihusti elektroonikaskeemi komponentide loetelu

Tähistus skeemil	Komponendi nimetus	Kogus	Andmelehe viide kasutatud kirjanduse loetelus
BC547	NPN-bipolaartransistor	1	[22]
IRGB14C40L	Isoleeritud paisuga bipolaartransistor (TO220-AB)	2	[23]
BYV32	Diod	1	[24]
R1/R2	Takisti (291 seeria)	2	[25]

Elektromagnetpihustite juhtimiseks kasutatakse pulsilaiusmodulatsiooni (PWM) ning PWM signaali edastamiseks on joonisel 2.11 kujutatud Arduino R3 kontrolleri viigud IN1_1 ja IN1_2, kontrolleri juhtimiseks koostatud kood on esitatud töö lõpus (lisa 9). Isoleeritud paisuga bipolaartransistor, mille emitter on ühendatud pingeallika maandusklemmiga, lülitab kogu skeemil kujutatud süsteemi sisse ja välja. Teine isoleeritud paisuga bipolaartransistor on skeemis kasutusel kõrgepinge lülituselemendina, suure voolu lülitamiseks on enne IGBT transistori skeemis *driver* BC547 transistor. Elektromagnetiliste häirete vältimiseks on IGBT transistoride baasi ja kollektori vahel *pull-up* takistid. Komponentide, kontrolleri ning pingeallikate kaitseks on enne kahe klemmiga kruviterminali (X1-2 ja X1-1 ehk pihusti väljundid) paigutatud skeemi 20 amprist voolutugevust taluv diod.

Mensuuride pööramise juhtelektroonika

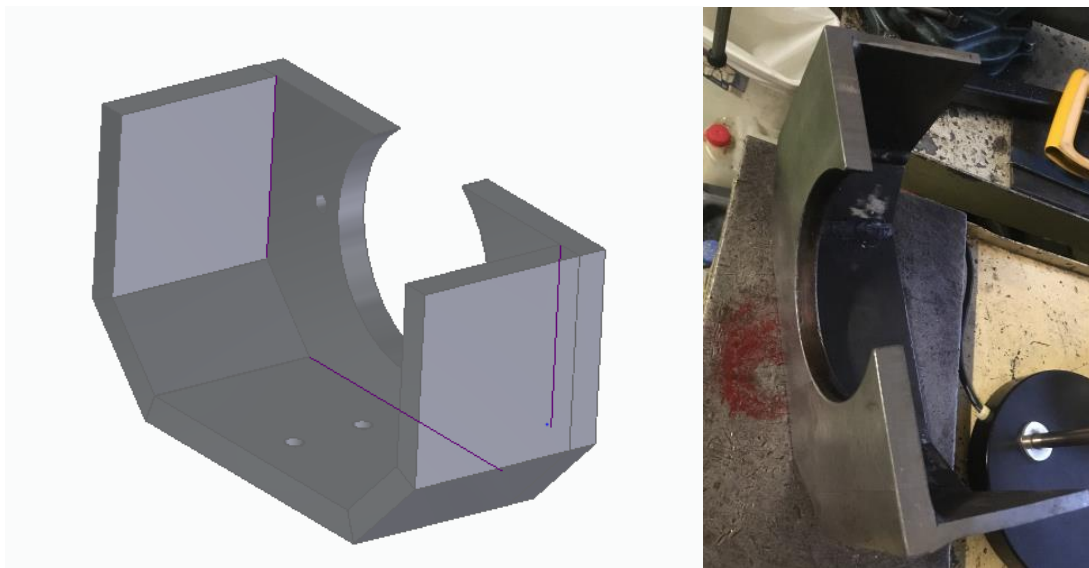
Pärast kestuskatse töösükli lõppu on vaja mensuuride tühjendamiseks mensuuride pöördvõlli pöörata üle 90 kraadi, et katsekütus hakkaks mensuuriklaasidest välja voolama. Pööramise jaoks on kasutusele võetud lineaartõukur. Lineaartõukuri juhtimiseks koostatud elektroonikaskeem on kujutatud joonisel 2.12.

olekute vältimiseks, ühendades mikrokontrolleri sisendi läbi takisti toitepotentsiaaliga. Lülituskeem hakkab tööle kui elektromagnetpihustite juhtkontrollerist tuleb vastav signaal joonisel 2.12 kujutatud skeemi juhtkontrollerisse, peale mida pingestatakse K4 relee (käivitusrelee) mähis ning relee kontakt suletakse ja tõukuri silinder hakkab välja liikuma. Kui tõukur on mensuure ette määratud nurga võrra pööranud, lülitatakse lõpulüliti suletud kontaktid (NC) mehaaniliselt lahti ning elektriahel katkeb hetkeks, vastava lõpulüliti teisest kontaktipaarist (NO) antakse seejärel signaal kontrollerile lülitamaks T2 transistori, mis läbi pingestatakse LMR2 relee mähis ning relee kontaktid lülitatakse ümber ning elektronide liikumissuund muutub esialgsele vastupidiseks ehk lineaartõukuri mootori polaarsust muudetakse esialgsele vastupidiseks ja tõukuri silinder hakkab sisse liikuma. Lineaartõukurile on sisse ehitatud lõpulüliti, mis mensuuride esialgsesse asendisse tagasijõudmisel lineaartõukuri mootori seiskab. Kirjeldatud juhtimismetoodika rakendamiseks on kontrollerile kirjutatud juhtkood (lisa 10).

3. KESTUSKATSESTENDI KONSTRUEERIMINE

3.1. Kestuskatsestendi mehaanilise osa konstrueerimine

Kõrgsurvepumba kinnitusflanši valmimine on kujutatud joonisel 3.1. Kvaliteetse ning stabiilse kinnituse saamiseks on CNC freespingis lõigatud vastavalt joonisele (lisa 4) esitahk. Üksikud esitahu külge kinnituvad külgtahud on lõigatud metalli lintsae abil. Pärast detailide keevitamist on ebatasasused fikseeritud montaažilaual ning seejärel freesitud manuaalses freespingis.



Joonis 3.1. Pumba kinnitusflanš.

Järgnevalt kinnitati kõrgsurvepump koos ülekande detailidega (joonis 3.2) stendi raami ja elektrimootori külge. Enne pumba lahti võtmist algosadeks sai kontrollida kinnituste stabiilsust mootori erinevatel pöörlemissagedustel.



Joonis 3.2. Uue asünkroonmootori (5 kW) ja pumba kinnitusdetailide katsetus.

Mensuurikast otsustati valmistada komposiitmaterjalist vormi võtmise teel, mis võimaldab kütust kinni pidava osa valmistamist ühes tükis ning ühes tootmisetapis. Varasema kasti korral oli võetud terasest lehtmaterjal ning nurkade liitmisel kasutatud keevitamist, mis aga katsetuste käigus lekkisid. Enne lõplikku konstrueerimist valati mensuurikasti alumine osa vett täis ning kontrolliti kasti vedeliku pidavust (joonis 3.3).



Joonis 3.3. Süsinikkiust kasti konstrueerimine vahetult enne lekketesti.

Joonisel 3.4 on kujutatud mensuurikasti põhjaplekk, millele on keevitatud roostevabast terasest (aisi 304) tagasivoolu toru. Kõik keevisõmblused on tehtud TIG-keevitusega Eesti Maaülikooli töökojas. Detaili joonis koos painutustega on toodud töö lisades (lisa 1),

painutused teostati Eesti Maaülikooli töökojas selleks ette nähtud spetsiaalse painutuspingiga.



Joonis 3.4. Mensuurikasti põhjaplekk painutatud ja keevitatud.

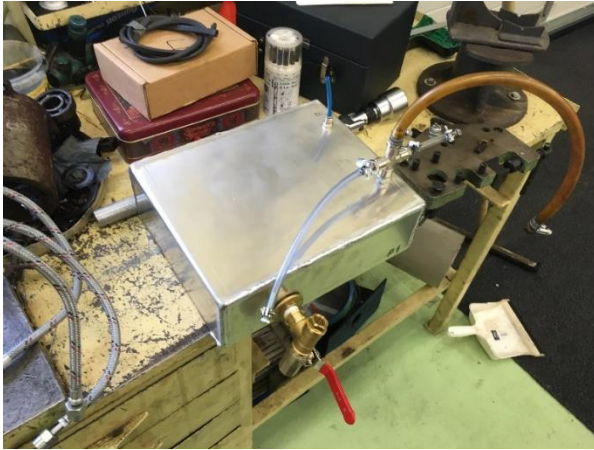
Mensuuride alusplaat on konstrueeritud ning värvitult kujutatud joonisel 3.5. Värvimise eesmärk antud juhul on eristada heledalt taustalt pihustatavate kütuse koguste lugemeid mensuuri klaasidelt.



Joonis 3.5. Mensuuride alusplaat värvitult.

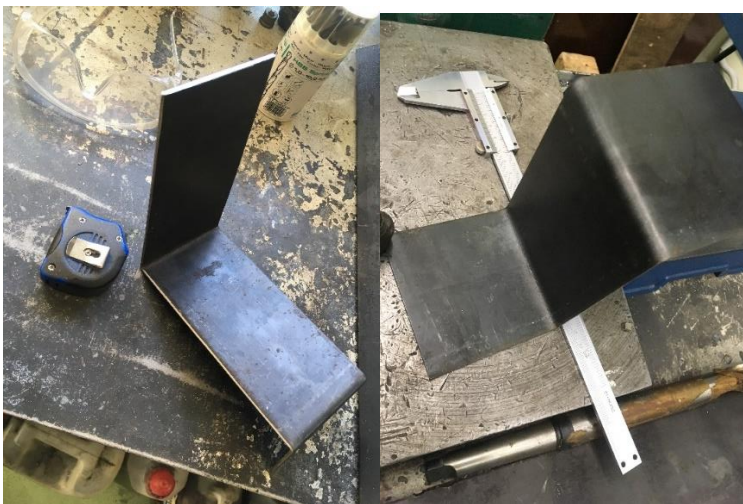
Joonisel 3.6 on kujutatud alumiiniumist kütusepaak osaliselt konstrueeritud. Paak on koostatud kahest alumiinium tükist, mille kohased joonised on töö lisades (lisa 2). Tükid on lõigatud laseriga ning painutatud ettevõttes Fractory.co, laserlõikuse eelis on antud juhul suur lõiketäpsus ning lõigatud servade kvaliteet. Vajaminevad liitmikud paagile soetati ettevõttest Hydroscand ja dr-Sanitaartechnika. Pärast alumiinium osade keevitamist sulgeti

pealevoolu- ning tagasivoolu avad, misjärel sai läbi õhutusava paaki survestatud suruõhuga (4...5 bar-i). Nii keevisõmblused kui ka liitmikühendused sai seejärel kastetud seebiveega, mis võimaldas töö autoril näha, kas paak on täielikult lekkekindel.



Joonis 3.6. Alumiiniumist kütusepaak keevitatud ning vajalikud liitmikud monteeritud.

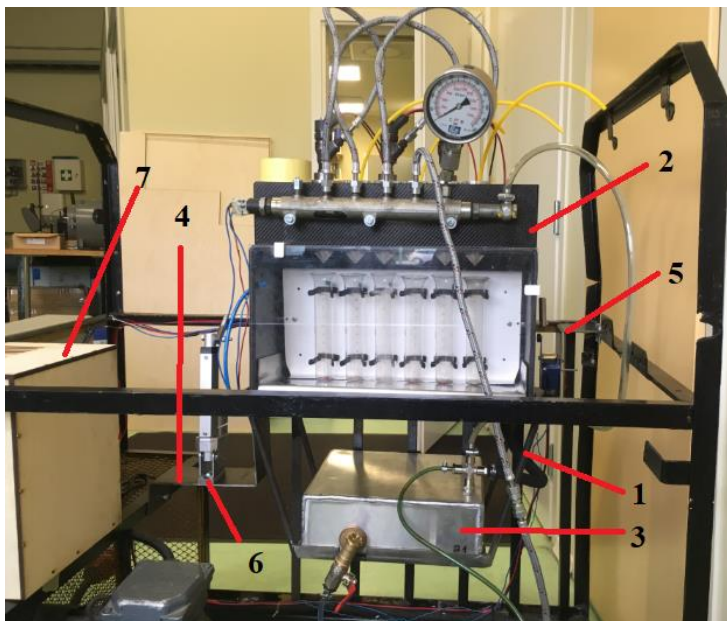
Mensuuride pööramisel vajaminevate lineaartõukuri ning lõpulüliti jaoks koostati vastavalt joonistele (lisa 5) spetsiaalsed kinnitusdetailid, mida oleks võimalik poltliitega ühendada katsestendi raamile (joonis 3.7).



Joonis 3.7. Lineaartõukuri (vasakul) ning lõpulüliti (paremal) kinnitusdetailid.

Joonisel 3.8 on esitatud koostujoonise (lisa 5) põhjal konstrueeritud mehaanika sõlmed, millel on kujutatud mensuurikasti, kütusepaaki ja tugiraami mensuurikasti ja kütusepaagi omavahelise asendi fikseerimiseks ning katsestendi raamiga ühendamiseks. Lisaks on joonisel 3.8 kujutatud lineaartõukuri ja lõpulüliti kinnitusdetailid tugiraami külgedel ning

sagedusmuunduri kate (lisa 6), mille eesmärk on kaitsta sagedusmuundurit mehaaniliste vigastuste eest.

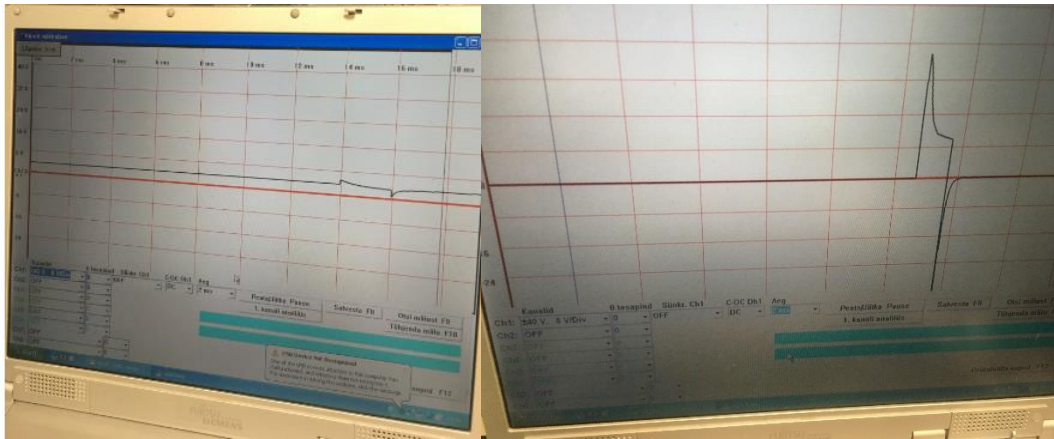


Joonis 3.8. Valminud katsestend (lisa 5): 1 – tugiraam; 2 – mensuurikast; 3 – kütusepaak; 4 – lineaartõukuri alus; 5 – lõpulüliti alus; 6 – lineaartõukuri distantklots; 7 – sagedusmuunduri kate.

Sellega on mehaanilise osa sõlmede koostamiseks vajalikud detailid ning nende valmistamise tehnoloogiad kirjeldatud. Kõik tehnilised joonised on esitatud töö lisades.

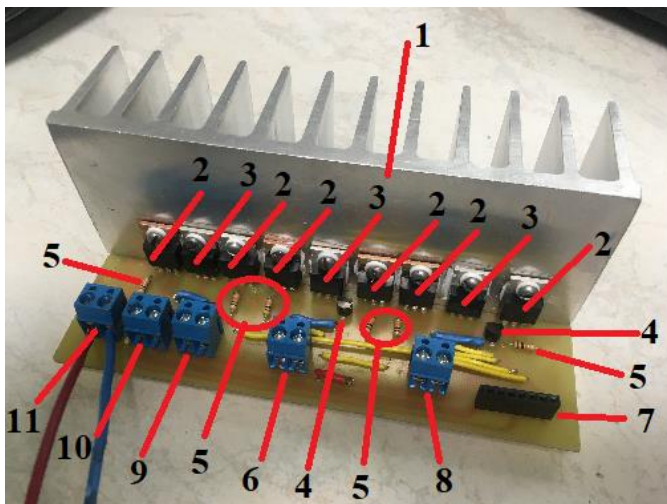
3.2. Kestuskatsestendi elektroonilise juhtosa konstrueerimine

Elektroonilise osa konstrueerimist alustati elektromagnetpihustite juhtimiseks koostatud skeemi katsetamisega maketeerimislaual. Trükkplaadi koostamist ei saanud alustada enne kui joonisel 3.9 kujutatud signaalikuju vastab joonisel 2.10 esitatule.



Joonis 3.9. Ostsilloskoobiga mõõdetud signaali kuju, vasakul esialgne ja paremal nõutav.

Kui signaali kuju õnnestus kätte saada, siis juhendaja abiga koostati joonisel 3.10 kujutatud trükkplaat kolme elektromagnetpihusti juhtimiseks, trükkplaadi disainimisel kasutati vabavaralist tarkvara „Eagle“ ning disainitud plaadi kujutis on esitatud töö lisades (lisa 7).

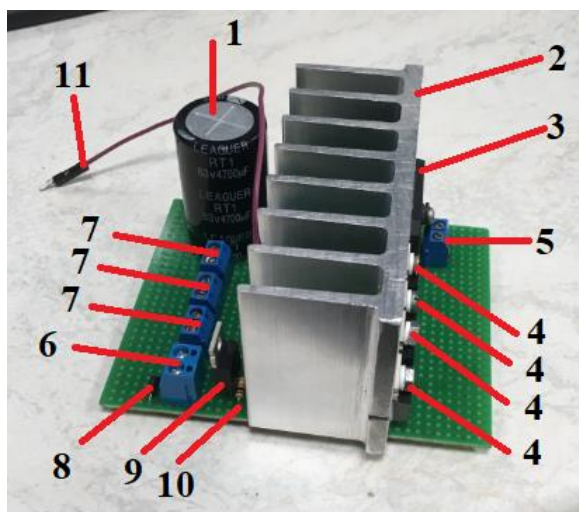


Joonis 3.10. Elektromagnetpihustite juhtimiseks koostatud trükkplaat: 1 – alumiiniumist jahutusradiaator, profiil A5352 (35x140x50 mm); 2 - IRGB14C40L transistorid; 3 – BYV32 diodid; 4 – BC547 transistorid; 5 – 10 kΩ 1/4 W takistid; 6 – 2-ne kruviterminal (pihusti 1); 7 – 7-ne klemmliist (kontrolleri sisendid); 8 - 2-ne kruviterminal (pihusti 2); 9 - 2-ne kruviterminal (pihusti 3); 10 - 2-ne kruviterminal (70 V DC sisend); 11 - 2-ne kruviterminal (12 V DC sisend).

Joonisel 3.10 kujutatud trükkplaadi mõõdud on 50x140 mm ning disainimisel on jälgitud, et jahutust vajavad komponendid asetseksid ühel sirgjoonel, suuremaid voole kannatavad rajad

on laiusel 2 mm, signaalirajad 1 mm. Komponentide ühendamiseks jahutusradiaatorile on kasutatud spetsiaalseid TO220 isoleerkomplekte.

Pingeallikana on kasutusel TMB 160/001M/1 trafo, mille sisendpinge on 230 V AC (vahelduvpinge) ja väljundpinge 12 V AC. Trükkplaadile ei tohi ühendada otse vahelduvvoolu allikat ning sellepärast koostati makettplaadile skeem trafost tuleva pinge alaldamiseks läbi dioodsilla (joonis 3.11). Töö lisades (lisa 8) on esitatud elektroonika skeem, mis koondab nii pihustite juhtimise osa kui ka joonisel 3.11 kujutatud täiturosa.



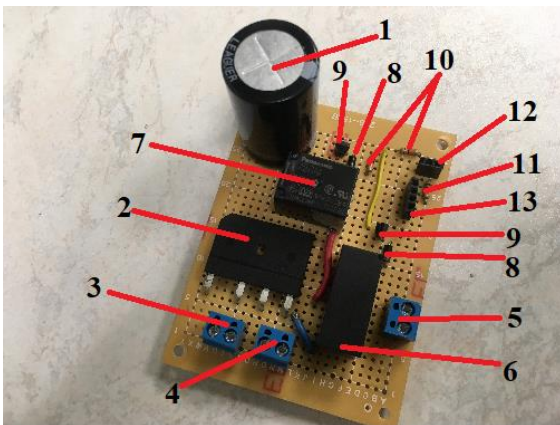
Joonis 3.11. Pihustite juhtimise täiturosa: 1 – RT1 kondensaator; 2 – alumiiniumist jahutusradiaator, profiil A4291 (36x95x50 mm); 3 - GBJ2510 dioodsild; 4 – BYV79E-200 dioodid [36]; 5 – 2-ne klemmliist kruviga (12 V AC sisend); 6 – 2-ne kruviterminal (pumba rõhuregulaatori väljund); 7 - 2-ne kruviterminal (12 V DC väljundid); 8 - 1N4001 dioodid; 9 – IRGB14C40L transistor; 10 – 10 kΩ 1/4 W baasitakisti; 11 – 2-ne klemmliist (kontrolleri sisend).

Joonisel 3.11 kujutatud plaadil, mille mõõdud on 100x80 mm, on RT1 kondensaator elektromagnetpihustite avamisel tekkiva induksioonvoolu salvestamiseks. Diodsilla ja trafo kaitseks on plaadil 20 A dioodid. Plaadil on üks sisend ja neli väljundit (kokku viis 2-st klemmliistu kruviga). Kaks väljundit on trükkplaadile (12 V DC ja 70 V DC), üks kõrgsurvepumba rõhuregulaatorile (12 V DC) ja üks väljund kontrolleri toiteks (12 V DC). Vahetult enne trükkplaati on vastav element kõrgepinge tekitamiseks (joonis 3.12) [37].



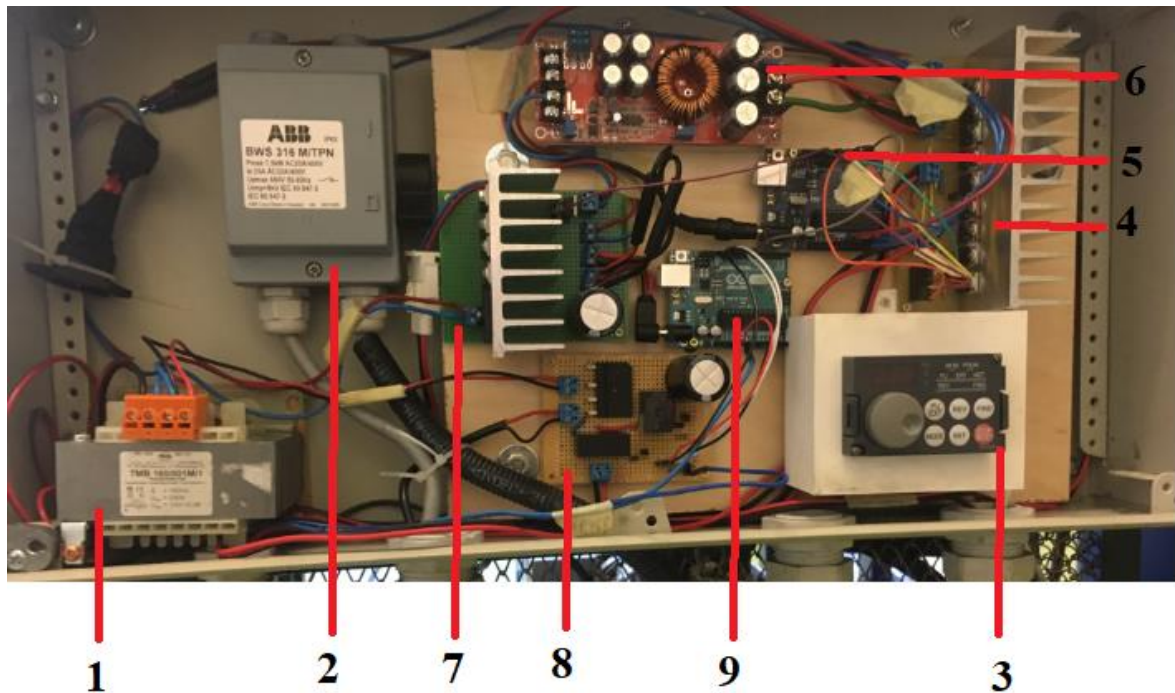
Joonis 3.12. 20 A 1200 W DC-DC pingemuundur (52x130x46 mm).

Pärast pihustite töötükli lõppu on vaja mensuurid katsekütusest tühjendada. Selle jaoks on kasutusele võetud lineaartõukur, mille juhtimise elektroonikaskeem on koostatud plaadile joonisel 3.13.



Joonis 3.13. Pöördvõlli pööramise elektroonikaplaat: 1 – RT1 kondensaator; 2 - GBJ2510 dioodsild; 3 – 2-ne kruviterminal (12 V AC sisend); 4 – 2-ne kruviterminal (koormuse väljund); 5 – 2-ne kruviterminal (lõpulüliti NC kontaktipaari sisend); 6 – LMR2 ümberlülitusreele; 7 – JS käivitusreele; 8 – 1N4001 diodid; 9 – BC547 transistorid; 10 – 10 k Ω 1/4 W baasitakistid; 11 – *pull-up* takisti; 12 – 2-ne klemmliist (kontrolleri sisend lõpulülitist); 13 - 4-ne klemmliist (kontrolleri sisendid).

Joonisel 3.13 koostatud makettplaadi mõõdud on 94x71 mm. Pingeallikana on kasutusel TMB 160/001M/1 trafo, mille sisendpinge on 230 V AC (vahelduvpinge) ja väljundpinge 12 V AC (joonisel 2.23 number kolmega tähistatud klemmliist). Joonisel 3.14 on kujutatud elektroonika komponentide omavaheline paigutus ning üldine asetus elektrikapis.



Joonis 3.14. Koostatud elektrikapi sisu: 1 – TMB trafo; 2 – sagedusmuunduri toitelüliti; 3 – sagedusmuunduri juhtimise displei; 4 – elektromagnetpihustite (3 tk.) juhtimise trükkplaat; 5 – kontrolleri 1 (pumba rõhuregulaatori ja pihustite juhtsignaalid); 6 - 20 A 1200 W DC-DC pingemuundur; 7 – pihustite juhtimise täiturplaat; 8 – mensuuride pööramise juhtplaat; 9 – kontrolleri 2 (mensuuride pööramise juhtsignaalid).

Sellega on elektroonilise osa sõlmede koostamiseks vajalikud komponendid välja toodud ning juhtimispõhimõtted lahti seletatud.

KOKKUVÕTE

Töö esimeses peatükis on antud ülevaade erinevatest kütustest ning esitatud nende võrdlusparameetrid, mis on olulised kestuskatsestendi projekteermisel ja järeldeste tegemisel hilisematel kestuskatsetustel. Tänapäevastest elektroonilistest diiseltoiteaparatuuridest on katsestendi projekteerimisel lähtutud ühisanumtüüpi toiteaparatuurist. Kestuskatse läbiviimise aluseks on võetud Eesti Maaülikoolis välja töötatud mõõtemetoodika.

Antud bakalaureusetöö eesmärgi saavutamiseks on koostatud töö teises osas olemasoleva kestuskatsestendi konstruktsioonianalüüs, millest lähtuvalt projekteeriti ja konstrueeriti probleemset ja puuduolevad sõlmed katsestendile:

- 1) mensuurikast;
- 2) kütusepaak;
- 3) mensuurikasti ja kütusepaagi tugiraam;
- 4) pumba kinnitusflaš ja ülekande detailid;
- 5) sagedusmuunduri kate.

Elektroonika toimimiseks oli vaja esitada uus elektromagnetpihustite juhtskeem ning seda katsetada nõutava signaalikuju saavutamiseni. Pärast signaalikuju saavutamist on disainitud ning koostatud trükk-plaat kolme elektromagnetpihusti juhtimiseks. Katsestendi automatiseerimiseks on stendile osaliselt konstrueeritud automaatne mõõtesüsteem, mis seisnes mensuuride pöördvõllile lineaartõukuri ning selle juhtelektroonika lisamises. Enne elektrikapi komplekteerimist on nii pihustite juhtelektroonika kui ka osaliselt konstrueeritud automaatne mõõtesüsteem eraldiseisvalt läbi testitud. Kõik tehnilised joonised ja skeemid on esitatud töö lisades. Tööd on võimalik jätkata kestuskatsestendi mõõtesüsteemi edasise automatiseerimisega.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Kulu, P.** (2015). Mehaanikainseneri käsiraamat. Tallinn: TTÜ Kirjastus. 492 lk.
2. **Abo, L., Hendre, E., Lavrentjev, J., Möller, K., Ots, H.** (2014). Autonduse käsiraamat. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda. 731 lk.
3. **Küüt, K.** 2016. Kestuskatsestend biokütuse mõju uurimiseks diiseltoiteaparatuuri töödetailidele. Magistritöö. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut. Tartu. 81 lk.
4. Diesel fuel-injection system common-rail (2. tr.). (2005). /Koost. K.-H. Dietsche; M. Klingebiel; R. Müller. Plochingen: Robert Bosch GmbH. 94 lk.
5. **Riazi, M.R., Chiaramonti, D.** (2018). Biofuels production and processing technology. Boca Raton: CRC Press. 690 lk.
6. **Küüt, K.; Raide, V.; Ilves, R.; Küüt, A.; Olt, J.** (2017). Endurance test methodology and assessment of common rail fuel supply system wear while using bioethanol fuels. – Proceedings of 45th International symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering" (Ed. Igor Kovačev), University of Zagreb, pp. 111–119.
7. Neste Renewable Diesel Handbook. (2016). /Ed. A. Engman, T. Hartikka jt. Espoo: Neste Corporation. [Võrgumaterjal]. https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf (05.01.19).
8. IHS. (2018). Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. [Võrgumaterjal]. https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=ASTM%20D1655&item_s_key=00015939 (31.01.19).
9. Shell. (2019). Shell Aviation Fuels. [Võrgumaterjal]. https://www.shell.com/business-customers/aviation/aeroshell/knowledge-centre/the-aeroshell-book/_jcr_content/par/textimage_1433441235.stream/1445040706292/dc509e15cde99b11ddb6ed7e50c61e2e427a0f512435718921ed79028ed25048/aeroshell-book-2fuels.pdf (31.01.19).
10. **Love, J., Bryant, J. A.** (2017). Biofuels and bioenergy. Chichester, West Sussex : Wiley Blackwell. 299 lk.
11. **Riazi, M.-R., Chiaramonti, D.** (2018). Biofuels production and processing technology. Boca Raton: CRC Press. 690 lk.
12. Greenea. (2014). Waste based biofuels, waste based feedstock. [e-artikkel] <https://www.greenea.com/publication/is-hvo-the-holy-grail-of-the-world-biodiesel-market/> (05.01.19).

13. Aruane „Ülevaate koostamine olemasolevatest biolisandiga kütusesegude standarditest ja keskkonnanõuetest.“ (2017). Tallinn: Kütusekvaliteedi ja tolliteenuste osakond. http://te.emu.ee/userfiles/instituudid/te/biok/Biokytuste_ylevaade.pdf (12.01.19).
14. Aruane „Tallinna Autobussikoondise linnaliinibusside alternatiivkütuste kasutuselevõtu asjaolude selgitamine.“ (2012). Tallinn: SA Säästva Eesti Instituut. <file:///C:/Users/Chris/Downloads/4409.pdf> (26.01.19).
15. Automotive handbook (9. tr.). (2014). /Koost. K. Reif. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH. 1544 lk.
16. Diesel in-line fuel-injection pumps. (2003). /Koost. H. Bauer. Plochingen: Robert Bosch GmbH. 144 lk.
17. ASM. (2019). ASM Aerospace Specification Metals. [Võrgumaterjal]. <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mq304a> (21.01.19).
18. **Klauson, A., Metsaveer, J., Põdra, P., Raukas, U.** (2017). Tugevusõpetus: õpik kõrgkoolidele (2. tr.). Tallinn: TTÜ Kirjastus. 639 lk.
19. Zoltek. (2019). What is Carbon Fiber? [Võrgumaterjal]. <http://zoltek.com/carbon-fiber/what-is-carbon-fiber/> (30.01.19).
20. **Masso, T.** (2014). Ehituskonstruktori käsiraamat (4. tr.). Tallinn: Ehitame. 577 lk.
21. **Kleis, I., Arumäe, H.** (2001). Rakendusmehaanika. [Võrgumaterjal]. http://www.ene.ttu.ee/leonardo/rak_meh/Rakendusmehaanika.pdf (03.03.19).
22. Fairchild Semiconductor. BC547 transistori dokumentatsioon. [Andmeleht]. <http://www.farnell.com/datasheets/59764.pdf> (18.04.2019).
23. International IR Rectifier. IRGB14C40LPbF transistori dokumentatsioon. [Andmeleht]. http://www.farnell.com/datasheets/140438.pdf?_ga=2.121039040.958891042.1552908521-824184007.1549373838&_gac=1.216737186.1551429372.EAIaIQobChMIqoLs4cTg4AIVFP hRChlXpw9IEAAYASAAEgLvavD_BwE (18.04.2019).
24. NXP Semiconductors. BYV32E-200 diodi dokumentatsioon. [Andmeleht]. http://www.farnell.com/datasheets/702640.pdf?_ga=2.25696957.1650208769.1553853988-824184007.1549373838&_gac=1.2228740.1553853988.EAIaIQobChMIwsCUk42n4QIVibY YCh20wQmyEAAYAiAAEgIqcPD_BwE (18.04.2019).
25. XICON. 10k 1/4W takisti dokumentatsioon. [Andmeleht]. http://igem.org/wiki/images/2/27/File-T--Technion_Israel-HardwareSpecsResistors.pdf (18.04.2019).
26. **Nour, M., Attia, A., Nada, S.** (2019). Combustion, performance and emissioon analysis of diesel engine fuelled by higher alcohols (butanol, octanol and heptanol)/diesel blends. – Energy Conversion and Management. Vol. 185, pp. 313-329.
27. **Abed, K.-A., Gad, M.-S., EL Morsi, A.-K., Sayed, M.-M., Abu Elyazeed, S.** (2019). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. – Egyptian Journal of Petroleum.

28. **Chiavola, O., Palmieri, F.** (2018). Investigating the Fuel Type Influence on Diesel CR Pump Performance. – Energy Procedia. Vol. 148, pp. 908-915.
29. JAMECO. GBJ2510 diodisilla dokumentatsioon. [Andmeleht].
<https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/1540367.pdf> (27.04.19).
30. ZHUHAI. RT1 seeria alumiinium elektrolüüt kondensaatori dokumentatsioon. [Andmeleht].
<http://www.paullinebarger.net/DS/Leaguer/Leaguer%20%5Bradial%20thruhole%5D%20RT1%20Series.pdf> (27.04.19).
31. JAMECO. AJS1319F rele dokumentatsioon. [Andmeleht].
<https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/843155.pdf> (27.04.19).
32. RAYEX. LMR2-3D rele dokumentatsioon. [Andmeleht].
https://www.tme.eu/Document/5c46ca75684a705245538e4b5895e92e/LMR_SERIES%28new%29.pdf (27.04.19).
33. TELEMECANIQUE. Kahe kontaktipaariga NC/NO lõpulüliti dokumentatsioon. [Andmeleht].
https://download.schneiderelectric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=DIA4ED2170406EN+%28web%29.pdf&p_Doc_Ref=DIA4ED2170406EN (27.04.19).
34. ECO-WORTHY. 4'' (100 mm) lineaartõukuri dokumentatsioon. [Andmeleht].
<https://www.eco-worthy.com/catalog/worthy-100mm12v-multi-purpose-linear-actuator-p-418.html> (30.04.19).
35. APD Semiconductors. 1N4001...1N4007 diodide dokumentatsioon. [Andmeleht].
http://www.farnell.com/datasheets/1868045.pdf?_ga=2.168652453.560420825.1556693626-824184007.1549373838&_gac=1.6432262.1556693626.EAIAIQobChMInMaG0d_54QIVDpAYCh0KWgAOEAAYASAAEgJOO_D_BwE (01.05.19).
36. NXP Semiconductors. BYV79E-200 diodi dokumentatsioon. [Andmeleht].
http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/NXP_Semiconductors/BYV79E_SERIES.pdf (01.05.2019).
37. HT. 20 A 1200 W DC-DC pingemuunduri dokumentatsioon. [Andmeleht].
<http://www.handsontec.com/dataspecs/1200W%20DC-DC%20Converter.pdf> (05.05.19).
38. Automotive fuels. (2019). Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment – Requirements and test methods: Eesti standard EVS-EN 15940:2016+A1:2018. Tallinn: Eesti standardikeskus.
39. Mootorikütused. (2017). Diislikütus – Nõuded ja katsemeetodid: Eesti standard EVS-EN 590:2013+A1:2017. Tallinn: Eesti standardikeskus.
40. Vedelad naftasaadused. (2014). Rasvhapete metüülestrid (FAME) diiselmootoritele või kütteseadmetele – Nõuded ja katsemeetodid: Eesti standard EVS-EN 14214:2012+A1:2014. Tallinn: Eesti standardikeskus.
41. ZIPART. VP30-44-diagnostics. [Võrgumaterjal]. <https://www.vp44diesel.de/en/vp30-44-diagnostics> (22.05.19).

SUMMARY

The purpose of this bachelor thesis was to design and construct a working endurance test bench for diesel supply apparatus. In the first paragraph there are different diesel fuel characteristics comparison that has been made due to most relevant standards. The importance of this research was to understand what kind of fuels could be tested during the endurance test. Modern electronical diesel supply apparatus, which are common rail and unit injector system, are different enough so one has to be proceeded before designing a new endurance test bench. Mostly due to unit injector more complex design it is decided to use common rail fuel system on test bench. Thus, it is possible to use distributor and in-line high preassure pumps in test bench by some modifications with the mechanical part and the electronical operating mode of the test bench.

Technical units, which are designed because previous versions were problematic in many aspects, are:

- 1) measuring glass box;
- 2) fuel tank;
- 3) new welded frame to hold box and fuel tank;
- 4) pump holder and coupler between pump and motor;
- 5) cover for the variable frequency drive.

Because of the overheating of injector's coil, new electronical schematics is done. This also means new control code for the Arduino board. To automate test bench more than before there is new solution to rotate measuring glasses which is driven by linear actuator. To find optimal rod length there is a kinematical model done in the design paragraph. Rotation control is mainly solved by two BC547 transistors and relays which are leaded by another Arduino board.

LISAD